

Любопытные аспекты света и зрения

Шелфорд Бидвелл

Curiosities of Light and Sight

Shelford Bidwell



Электронная книга проекта "Гутенберг" о курьезах света и зрения

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Любопытные аспекты света и зрения

Автор: Шелфорд Бидвелл

Дата выхода: 1 июля 2012 г. [Электронная книга № 40119]

Последнее обновление: 23 октября 2024 г.

Язык: Английский

Кредиты: Подготовлено командой онлайн-корректоров по адресу <http://www.pgdp.net> (Этот файл создан на основе изображений, щедро предоставленных интернет-архивом.)

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННОЙ КНИГИ ГУТЕНБЕРГА "КУРЬЕЗЫ СВЕТА И ЗРЕНИЯ" ***

Любопытные аспекты света и зрения

АВТОР: ШЕЛФОРД БИДВЕЛЛ, магистр права, F.R.S.

С ПЯТЬЮДЕСЯТЬЮ ИЛЛЮСТРАЦИЯМИ



ЛОНДОН:
SWAN SONNENSCHNEIN & CO., LIMITED,

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Следующие главы основаны на записях нескольких несвязанных лекций, адресованных аудитории самых разных классов в театрах Королевского института, Лондонского института, Философского и литературного общества Лидса и Дома Кайуса в Баттерси.

При подготовке примечаний к публикации материал был перестроен с целью представления его, насколько это возможно, в методическом порядке; дополнения и пропуски были сделаны свободно, и были предоставлены многочисленные диаграммы, иллюстрирующие описанный аппарат и эксперименты.

Я не знаю, нужны ли какие-либо извинения за то, что я предлагаю коллекцию в таком виде более широкой публике. Хотя эссе, по большей части, носят популярный и неформальный характер, они затрагивают ряд любопытных вопросов, о которых до сих пор не появилось легкодоступного описания, хотя даже в самых элементарных частях была предпринята попытка подойти к теме с некоторой степенью свежести.

Интересные субъективные явления, связанные со зрением, по-видимому, не получили в этой стране того внимания, которого они заслуживают. Возможно, эта небольшая книга окажет некоторую услугу экспериментаторам, как профессионалам, так и любителям, в том, что касается привлекательной области исследований, которая до сих пор была изучена лишь частично.

Содержание.

	Страница.
Глава I.	
Свет и око	1
Глава II.	
Цвет и его восприятие	39

Глава III.	
Некоторые оптические дефекты глаза	84

Глава IV.	
Оптические иллюзии	130

Глава V.	
Особенности зрения	165

СПИСОК ДИАГРАММ.

РИС.	СТРАНИЦА.
1. Изображение щели и спектра	12
2. Схема глаза	24
3. Прибор Эбни для определения цвета	45
4. Частично перехваченный спектр	49
5. Карточки-трафареты	52
6. Кривые цветовых ощущений Гельмгольца	72
7. Кривые Кенига	73
8. Карточка-трафарет для дополнительных цветов	77
9. Другая форма	79
10. Слайд для смешивания любых двух спектральных цветов	80
11. Преломление монохроматического света линзой	87
12. Преломление дихроматического света	89
13. Узкий спектр, видимый издали	97
14. Спектр, образованный V-образной щелью	103
15. Прибор Безольда для демонстрации отсутствия ахроматизма глаза	108
16. Скрещенные линии, показывающие эффект астигматизма	113
17. Другой Рисунок, показывающий то же самое	114
18. Звездообразные изображения светящихся точек	116

19.	Швы хрусталика	117
20.	Множественные изображения светящейся точки	120
21.	То же самое, с увеличенным количеством изображений	122
22.	То же самое, когда перед глазом держат щель	123
23.	Множественные изображения нити накала электрической лампы	125
24.	То же самое видно через Щель	126-128
25.	Иллюзия длины	132
26.	Другая форма	135
27.	Другая форма	136
28.	Другая форма	137
29.	Другая форма	138
30.	Иллюзия наклона	143
31.	Линии Зеллнера	144
32.	Слайд для демонстрации иллюзий движений	147
33.	Иллюзия движения	149
34.	Иллюзия сияния	152
35.	Иллюзия цвета	155
36.	Повторяющееся видение, продемонстрированное с помощью вакуумной трубки	176
37.	То же самое с вращающимся диском	178
38.	Устройство для демонстрации повторяющегося видения в спектральных цветах	181
39.	“Темная полоса” Шарпантье	187
40.	Эффект Шарпантье, показанный Рукой	189
41.	Множественные темные полосы	192
42.	Временная нечувствительность глаз после освещения	194
43.	Зрительные ощущения, сопровождающие период освещения	199
44.	Benham's Artificial Spectrum Top	200
45.	Демонстрация красных цветовых границ	205
46.	Черно-белые экраны для того же	209
47.	Вращающийся диск для того же	210
48.	Демонстрация синего цвета-границы	215
49.	Диск для экспериментов по определению происхождения цветных границ	217
50.	Диск для субъективного преобразования цветов	224

ГЛАВА I.

СВЕТ И ГЛАЗ.

В нынешнюю научную эпоху каждый знает, что свет передается в пространстве через среду светоносного эфира. Этот эфир заполняет всю известную вселенную, по крайней мере, до самой отдаленной звезды, видимой в самые мощные телескопы, и часто говорят, что он обладает свойствами настолько парадоксального характера, что безоговорочное принятие их всегда было делом значительных трудностей.

Эфир - вещь неизмеримо разреженная, он во много миллионов раз разреженнее самого совершенного вакуума, с которым мы когда-либо сталкивались: он не создает ощутимых препятствий движениям небесных тел, и даже самая тонкая материальная субстанция может проходить сквозь него, как сквозь ничто. Однако нас учили, что тот же самый эфир представляет собой упругое твердое вещество с высокой степенью жесткости, его сопротивление искажению по сравнению с плотностью почти в десять тысяч миллионов раз больше, чем у стали: так объяснялась огромная скорость, с которой он распространяет поперечные колебания.

Несколько лет назад выдающийся деятель науки попытался в ходе лекции проиллюстрировать эти, казалось бы, несовместимые свойства с помощью большого куска бургундской смолы. Он показал, что смола была твердой и хрупкой, однако, по его словам, пуля, нанесенная на плиту, в течение нескольких месяцев погружалась в нее и проходила сквозь нее, поскольку твердая хрупкая масса на самом деле была очень вязкой жидкостью. Предполагалось, что эфир напоминает смолу, поскольку обладает жесткостью твердого тела и в то же время постепенно уступает; фактически, это твердое вещество для светоносных колебаний, совершаемых примерно за стомиллиардную долю секунды, и в то же время очень подвижно для тел, подобных земле, проходящих через него со скоростью двадцать миль в секунду.

Эта иллюстрация, какой бы удачной она ни была, вряд ли помогла бы убедить нежелающий этого разум, даже если бы было признано, что период эфирной волны обязательно составляет не более стомиллиардной доли секунды или около того, что, вероятно, очень далеко от истины.

Но, действительно, теория упругого твердого тела эфира не смогла дать последовательного объяснения некоторым из наиболее важных моментов в наблюдательной оптике; и, несмотря на высокое положение, которое она занимала, теперь ее вряд ли можно рассматривать как представляющую физическую реальность. Знаменитые исследования Герца установили на надежной экспериментальной основе гипотезу Максвелла о том, что свет является электромагнитным явлением. Обнаружено, что такие электрические излучения, которые могут быть получены с помощью подходящих приборов, ведут себя точно так же, как и те, которые возникают из-за света. Они перемещаются в пространстве с одинаковой скоростью; их можно отражать, преломлять, поляризовывать и создавать эффекты интерференции. Ни один факт в физике не может быть установлен гораздо более твердо, чем тождество света и электричества по сути. Из этого следует, что смещения эфира, составляющие световые волны, не обязательно имеют ту же грубую механическую природу, что и те, которые мы видим на поверхности воды

или которые происходят в воздухе, когда через него передается звук. Перемещения, которым подвергается эфир, не механические — во всяком случае, в первую очередь, - а электрические. Каждый знает, что такое простое механическое перемещение. Если мы отодвинем в сторону качалку подвешенного маятника, это будет механическое смещение. Но если мы наэлектризовываем палочку сургуча, протирая ее фланелью, окружающий эфир подвергается электрическому смещению, и никто не понимает, что такое электрическое смещение на самом деле. В конечном счете, без сомнения, это окажется механического характера, но почти наверняка это не простое телесное искажение, подобное тому, которое возникает, например, при надавливании на желе пальцем.

Поскольку, таким образом, больше нет необходимости предполагать, что чрезвычайно редкий и тонкий эфир представляет собой желеобразное твердое вещество, чтобы объяснить способ, которым он пропускает свет, устраняется одна из наиболее серьезных трудностей на пути его принятия. Верно, что ничего определенно не известно о механизме, который заменяет простые поперечные колебания, постулируемые ранее, но каждый согласится, что гораздо легче поверить в то, о чем мы ничего не знаем, чем в то, что мы считаем невозможным.

Фактически все ученые единодушны в признании реального существования в пространстве эфира, способного, среди прочего, передавать со скоростью 186 000 миль в секунду возмущения, которые, какова бы ни была их точная природа, относятся к тому виду, который математики привыкли называть волнами. Как устроена эфирная волна, вероятно, станет известно, когда мы точно выясним, что такое электричество, а этого может не случиться никогда.

Ощущение света возникает в результате воздействия эфирных волн на организм глаза, но старое убеждение, что это ощущение было вызвано в первую очередь серией простых механических импульсов или биений, точно так же, как ощущение звука возникает в результате механического воздействия воздушных волн на барабанную перепонку уха, больше не может поддерживаться. Сущностная природа действия, оказываемого эфирными волнами, все еще не определена, хотя многие предположения об истине были подвергнуты риску. Это может быть электрическое или химическое воздействие; возможно, это и то, и другое. Мы знаем, что эфирные волны способны вызывать химические изменения, как в известном примере фотографических процессов; они также могут вызывать электрические явления, как, например, когда они падают на надлежащим образом подготовленный кусочек селена; но нет никаких доказательств того, что они могут оказывать какое-либо прямое механическое воздействие вибрационного характера, и, действительно, едва ли возможно, чтобы какая-либо часть нашего организма была приспособлена воспринимать вибрации такой огромной скорости, как те, которые характеризуют световые волны.

Из множества эфирных волн, пересекающих пространство, лишь сравнительно немногие обладают способностью вызывать ощущение света. Что касается ограниченного диапазона чувствительности, то существует очень тесная аналогия между слухом и зрением. Когда воздушные волны бьют в наши уши, не возникает ощущения звука (по крайней мере, непрерывного звука), если только частота последовательных импульсов не находится в определенных пределах. Точно так же обстоит дело и со зрением. Если эфирные волны падают на наши глаза с меньшей скоростью, чем примерно 400 миллиардов в секунду, или с большей, чем 750 миллиардов в секунду, ощущение света не воспринимается. Существует другой и в

целом более удобный способ констатации этого факта. Поскольку все волны, обнаруженные в эфире, распространяются в пространстве с точно такой же скоростью — 186 000 миль в секунду, — из этого следует, что длина[1] каждой из серии однородных волн должна быть обратно пропорциональна их частоте, то есть скорости, с которой они ударяются о неподвижный объект, такой как глаз. Поэтому вместо того, чтобы определять волны по их частоте, мы с таким же успехом можем определять их по длине. Волны, частота которых составляет 400 миллиардов в секунду, имеют длину около $\frac{1}{34000}$ дюймов, что составляет одну четырехсотмиллиардную часть от 186 000 миль; а волны, частота которых составляет 750 миллиардов, имеют длину волны $\frac{1}{64000}$ дюймов. Таким образом, волны длиной более $\frac{1}{34000}$ дюймов или менее $\frac{1}{64000}$ дюймов не оказывают никакого воздействия на наши органы зрения.[2]

В связи с этим важным фактом будет удобно обратиться к знакомому, но очень красивому эксперименту — формированию спектра. Электрическая лампа заключена в железный фонарь, имеющий спереди вертикальную щель; из этой щели выходит узкий луч белого света, который состоит из лучей множества различных длин волн, смешанных вместе. Заставляя свет проходить через призму, смешанные лучи сортируются бок о бок в соответствии с их несколькими длинами волн, образуя широкую многоцветную полосу или “спектр” на белом экране, размещенном для их приема. (См. Рис. 1.) Красный цвет в крайнем левом углу обусловлен видимыми лучами с наибольшей длиной волны. Волны несколько меньшей длины образуют прилегающую полосу оранжевого цвета, а последующие цвета — желтый, зеленый и синий — соответствуют соответственно волнам все более короткой длины. Наконец, появляется фиолетовое пятно из-за тех видимых лучей, длина волны которых самая короткая из всех. Длина волны света на крайнем краю красного составляет около $\frac{1}{34000}$ дюймов, и по мере продвижения по спектру длина волны постепенно уменьшается, пока на крайнем внешнем краю фиолетового она не составит около $\frac{1}{64000}$ дюймов, или не намного больше половины длины волны на другом конце.

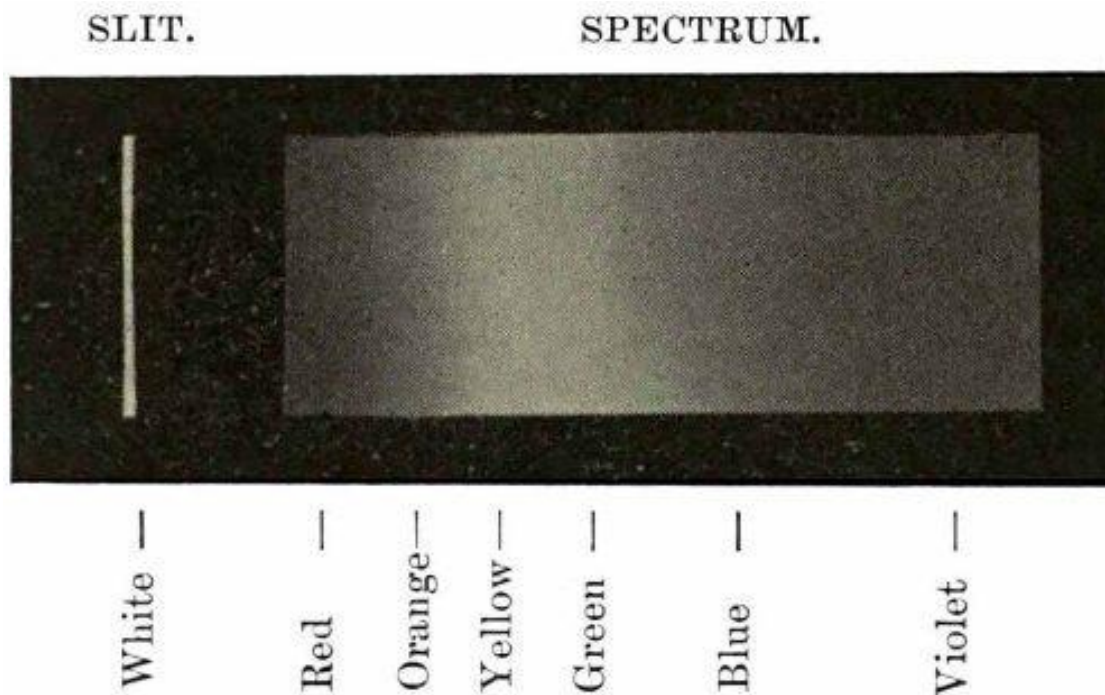


Рис. 1. Изображение щели и спектра.

Два конца спектра постепенно исчезают во тьме, и момент, на котором я хочу настаивать и сделать совершенно ясным, заключается в следующем: Положение границ, ограничивающих видимый спектр, не зависит ни от чего в природе света, рассматриваемого как физическое явление. Эфирные волны, которые намного длиннее и намного короче тех, которые освещают спектр, безусловно, существуют, и доказательства их существования легко получить. Но мы не можем их видеть; они падают на наши глаза, не вызывая ни малейшего ощущения света. Видимый спектр ограничен исключительно физиологическим строением наших органов зрения, и тот факт, что он начинается и заканчивается там, где он есть, является, с физической точки зрения, простой случайностью. Спектр, фактически проецируемый на экран, на самом деле намного длиннее той его части, которую любой может видеть: он простирается на значительное расстояние за пределы фиолетового на одном конце и за пределы красного на другом, эти невидимые участки известны как ультрафиолетовая и инфракрасная области. Глаза людей различаются по диапазону чувствительности точно так же, как и их уши. Я считаю чувствительность моих собственных глаз нормальной, но если бы я указал две точки, где, как мне кажется, начинается и заканчивается спектр, очень многие люди, несомненно, были бы склонны не согласиться со мной и провести границы где-то в другом месте. Некоторые, действительно, ничего не могли разглядеть в том, что большинству из нас кажется блестящей частью красного.

Опять же, отнюдь не вероятно, что у всех животных и насекомых пределы зрения такие же, как у человека. Естественно, мы могли бы ожидать, что глаза большего размера и, возможно, более грубо сконструированные, чем наши собственные, будут реагировать на волны большей средней длины, в то время как органы зрения мелких насекомых, с другой стороны, могут быть более чувствительными к более коротким волнам. Этот вопрос нелегко разрешить, потому что мы не в состоянии провести перекрестный допрос животного относительно того, что оно видит в различных условиях. Но сэр Джон Лаббок, воспользовавшись неприязнью, которую муравьи в своих гнездах испытывают к свету, с помощью серии очень исчерпывающих и убедительных экспериментов доказал, что эти насекомые наиболее чувствительны к лучам, которые наши собственные глаза вообще не воспринимают. Та область спектра, которая кажется наиболее яркой глазу муравья, является тем, что мы должны назвать совершенно темной, лежащей за пределами фиолетового, где падающие волны имеют длину менее $\frac{1}{64000}$ дюймов.

Как сказал лорд Солсбери в Оксфорде, функция эфира заключается в колебаниях, и, фактически, он переносит энергию из одного места в другое посредством волнового движения. Некоторые из его волн, например, те, что исходят от электрической динамо-машины, могут иметь длину в тысячи миль, другие могут быть короче миллионной доли дюйма, как, возможно, в случае с теми, которые связаны с рентгеновскими лучами профессора Рентгена; но все они, насколько известно, имеют по существу один и тот же характер, отличаясь друг от друга лишь так, как волны Атлантики отличаются от ряби на поверхности пруда. Независимо от того, как первоначально вызвано возмущение, будь то солнце, или динамо-машина, или нагретый утюг, в любом случае эфир не передает вообще ничего, кроме энергии волнового движения, и когда волны, наталкиваясь на какое-либо материальное препятствие, которое их не отражает, гаснут,

их энергия принимает другую форму, и выполняется какая-то работа, или в препятствии выделяется тепло.

Вся или, по крайней мере, большая часть энергии, выделяемой волнами, в большинстве случаев преобразуется в тепло, но при особых обстоятельствах, как, например, когда волны падают на зеленый лист или живой глаз, некоторые из них могут выполнять работу электрической или химической природы.

Процесс передачи энергии от одного тела к другому путем распространения через промежуточную среду долгое время назывался “излучением”, и в последние годы тот же термин в основном использовался для обозначения самой энергии, находящейся на стадии передачи. “Излучение” в последнем смысле — означающее эфирную волновую энергию - включает в себя то, что часто неправильно называют светом. Люди говорят, что свету требуется около восьми минут, чтобы добраться от солнца до земли. Но пока он находится в своем путешествии, это не свет в истинном смысле этого слова; и ничто из природы света никогда не исходит от солнца. Свет существует в природе вне живого тела не больше, чем вкус лука; и то, и другое - просто ощущения.

Если мальчик бросает камень, который попадает вам в лицо, вы чувствуете боль; но вы не говорите, что это была боль, которая покинула руку мальчика и прошла через пространство от него к вам. Камень, вместо того чтобы причинить боль живому существу, мог бы разбить окно или сбить яблоко. Точно так же то же самое излучение, которое, попадая в глаз, вызывает определенное ощущение, вызовет химическое разложение, если попадет на капусту, электрический эффект в селеновом элементе или нагревательный эффект практически во всем. Почему же тогда оно должно быть специально отождествлено с ощущением?

“Излучение” также включает в себя то, что часто ошибочно называют лучистым теплом, и является его почти синонимом. После того, что уже было указано, вряд ли нужно говорить, что такого понятия, как лучистое тепло, не существует. Истина заключается в том, что солнце или другое горячее тело генерирует волновую энергию в эфире за счет части своего собственного тепла, и любое удаленное вещество, которое поглощает часть этой энергии, обычно (но не обязательно) приобретает эквивалентное количество тепла. *Результат* может быть точно таким же, как если бы тепло покинуло горячее тело и прошло через пространство к веществу; но *процесс* другой. Это все равно что отправить конверт другу почтовым переводом. Вы отдаете конверт, и он его получает, но лист бумаги, который отправляется по почте, не является конвертом. Строго правильно говорить, что солнце теряет тепло из-за излучения, точно так же, как вы теряете конверт, вкладывая его в покупку почтового перевода. Но это не то же самое, что сказать, что солнце излучает тепло.

Преимущество термина “излучение” состоит в том, что он позволяет избежать любого предположения о ошибочности того, что существует какое-то существенное различие в природе эфирных волн, которое может привести к прекращению их соответствующего пути в производстве света, тепла, химического действия или чего-то еще; но, к сожалению, при нынешнем положении вещей невозможно использовать его так свободно, как хотелось бы, без педантизма, и мы все еще должны часто говорить о свете или тепле, когда излучение выразило бы наш смысл с большей точностью.

Таким образом, свет — если использовать этот термин без обиняков в его нежелательном, но хорошо понятном смысле — обладает свойством стимулировать определенные нервы, которые существуют у многих живых существ, в результате чего каким-то неизвестным и, вероятно, непознаваемым образом возникает особое ощущение — ощущение светимости. А для того, чтобы существо могло не только воспринимать свет, но и видеть предметы, то есть оценивать формы внешних объектов, его обычно снабжают оптическим прибором, с помощью которого падающий свет соответствующим образом распределяется по большому количеству независимых чувствительных элементов.

У человека и высших животных оптический аппарат, или глаз, состоит из жесткой шаровидной оболочки, имеющей спереди отверстие, снабженное системой линз, а в задней части внутренней части — тонкую воспринимающую мембрану, через которую воспринимается проходящий свет. Столько света, испускаемого или отраженного от внешнего объекта, сколько проходит через линзы, распределяется ими таким образом, чтобы сформировать то, что называется “изображением” на мембране, при этом каждая элементарная точка изображения принимает свет, исходящий из соответствующей точки объекта, и никакой другой. Это устройство, очевидно, имеет большое сходство с фотографической камерой, чувствительная пластинка или пленка, на которую проецируется изображение, аналогична воспринимающей мембране.

Я не собираюсь пытаться дать подробное описание человеческого глаза. Будет достаточно кратко указать на некоторые из его основных характеристик, указанных в прилагаемом разделе схем, [рис. 2](#).

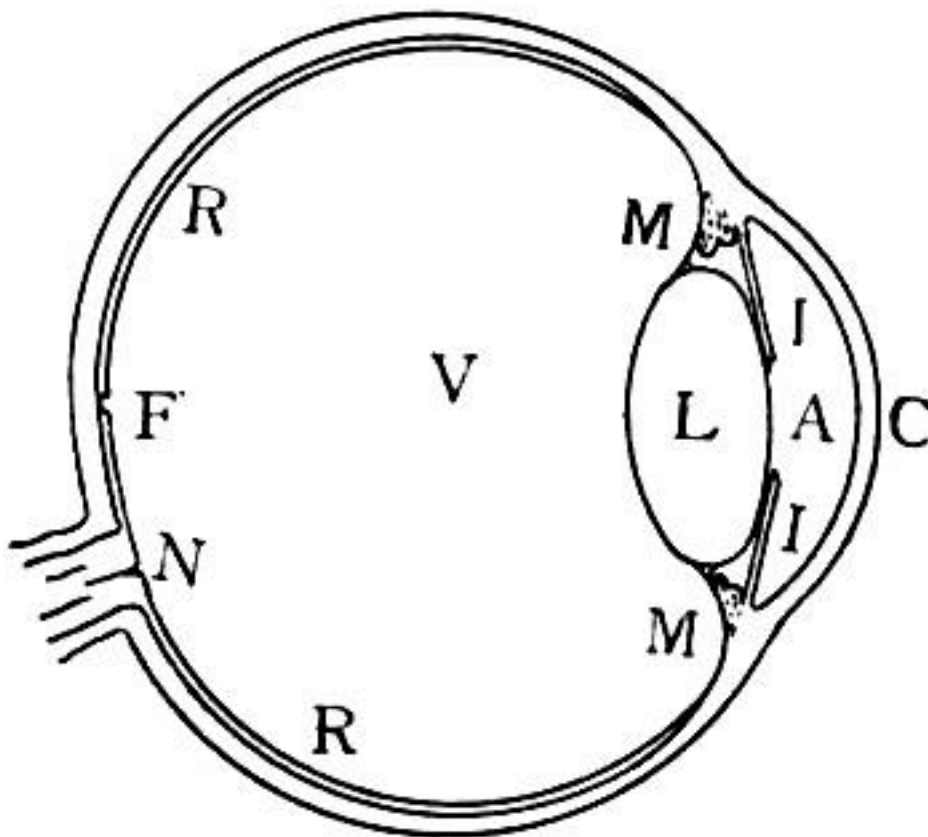


Рис. 2.Схема глаза.

Отверстие в передней части глобуса закрыто слегка выпуклой прозрачной оболочкой С, которая по форме напоминает маленькое часовое стекло и из-за своей рогообразной структуры получила название *роговица*. Пространство между роговицей С и телом, обозначенным буквой L, заполнено водянистой жидкостью А, известной как водянистая влага: эта жидкость с ее изогнутыми поверхностями образует хрусталик-мениск, выпуклый с внешней стороны и вогнутый с внутренней. Затем идет двояковыпуклый *хрусталик* L, эластичное желеобразное на вид твердое вещество, которое легко деформируется под давлением. Выпуклость этой линзы может изменяться в зависимости от действия окружающих мышц, и таким образом корректируется фокусировка для объектов, находящихся на разном расстоянии от глаза. Когда мышца расслаблена и хрусталик находится в своем естественном состоянии, кривизна его поверхностей такова, что формируется четкое изображение объектов, удаленных примерно на сорок футов и выше. Когда усилием воли мышца сокращается, хрусталик становится более выпуклым, и таким образом можно сфокусировать четкие изображения предметов, находящихся всего в нескольких дюймах от нас. Этот процесс приспособления с помощью мышечного усилия технически известен как “аккомодация”.

Остальная часть шара заполнена так называемым *стекловидным телом* V, которое получило свое название из-за воображаемого сходства с жидким стеклом: возможно, его правильнее было бы сравнить с тонким бесцветным желе. Стекловидное тело играет определенную роль в преломлении света.

перцептивная мембрана, или *сетчатка*, которая выстилает более половины внутренней поверхности глазного яблока, представляет собой чрезвычайно сложную структуру. Хотя его средняя толщина составляет менее $\frac{1}{100}$ дюймов, известно, что он состоит из девяти отдельных слоев, большинство из которых представляют собой чудеса мельчайшей сложности. Из этих слоев я отмечу только два, так называемый *бактериальный слой*, который находится в непосредственном контакте с внутренней оболочкой глазного яблока, и *волокнистый слой*, или слой волокон зрительного нерва, который отделен от стекловидного тела только тонкой защитной пленкой.

Бактериальный слой (от *bacillum*, палочка) состоит из обширного набора маленьких удлинённых телец, называемых *палочками* и *колбочками*, которые расположены бок о бок и расположены перпендикулярно поверхности сетчатки, или, другими словами, радиально глазному яблоку. Давайте попробуем пояснить это расположение с помощью иллюстрации.

Представьте себе небольшой участок внутренней поверхности глазного яблока, площадью в одну десятую квадратного дюйма, увеличенный в 2000 диаметров (четыре миллиона раз), и пусть увеличенная площадь будет представлена полom комнаты площадью 17 квадратных футов. Приобретите некоторое количество карандашей из кедра и разложите их на полу в вертикальном положении и очень близко друг к другу. Окажется, что количество карандашей, необходимых для заполнения этого пространства, составит около полумиллиона. Чтобы сделать аналогию более полной, пусть некоторые карандаши будут заточены до длинного сужающегося кончика на нижних концах, а большее количество останется неразрезанным, как и получено от производителей. Пренебрегая деталями, которые несущественны для нашей настоящей цели,

мы можем рассматривать неразрезанные карандаши как представляющие в чрезвычайно увеличенном масштабе палочки сетчатки, а заостренные - колбочки.

Плоские верхние кончики карандашей могут быть окрашены в разные однородные цвета и расположены так, чтобы образовать большую мозаичную картинку, и если смотреть на нее с такого расстояния, чтобы ее изображение на сетчатке составляло квадратную десятую дюйма (что будет иметь место, когда картинка находится примерно в сорока ярдах), то всякая возможность различения отдельных составляющих ее элементов будет утрачена, и картинка будет казаться совершенно непрерывной.

Хотя свет, попадающий в глаз, не может достичь палочек и колбочек, пока не пройдет все остальные слои сетчатки, все же эти промежуточные слои, будучи прозрачными, практически не препятствуют его прохождению, и вряд ли можно сомневаться в том, что палочки и колбочки являются особыми органами, на которые свет оказывает свое действие, изображение, сфокусированное на их концах, на самом деле представляет собой чрезвычайно тонкую мозаику.

От каждого отдельного элемента мозаики — от каждого отдельного стержня и колбочки — отходят тонкие прозрачные нити: все они проходят через промежуточные слои сетчатки без, как считается, какого-либо нарушения функциональной непрерывности и выходят вблизи ее внутренней поверхности; здесь они загибаются под прямым углом, и тысячи нитей образуют клубок, который выстилает внутреннюю часть глаза подобно тонкой сети и составляет уже упомянутый слой волокон зрительного нерва.

Однако нити, или нервные волокна, не заканчиваются внутри глаза; все они проходят через отверстие, обозначенное на рисунке буквой N, и оттуда в виде многожильного кабеля, составляющего *зрительный нерв*, они направляются к мозгу, к которому каждое отдельное волокно прикреплено отдельно. Следовательно, если то, что я сказал, верно — и, хотя, я полагаю, это не было полностью доказано, все же доказательства в его поддержку чрезвычайно убедительны, — из этого следует, что каждая из множества палочек и колбочек имеет свою собственную независимую линию связи с мозгом. Разум, который таинственным образом связан с мозгом, таким образом, получает возможность локализовать все точки светового возбуждения относительно друг друга и снабжен данными для оценки формы объекта, от которого исходит свет.

Есть две небольшие области сетчатки, которые представляют особый интерес. Одна из них находится как раз над отверстием N, куда входит зрительный нерв. Здесь очевидно, что не может быть никаких палочек и колбочек, их место полностью занимают нити нервных волокон. Примечательно, что это пятно совершенно нечувствительно к свету.

Другая интересная часть расположена напротив середины переднего отверстия и отмечена небольшим желтым пятном, в центре которого находится углубление или ямка, которая показана в увеличенной форме на F и называется *ямкой*. Было установлено, что вдавление происходит частично из-за отсутствия слоя нервных волокон, которые здесь отклонены в сторону от своего естественного хода, и частично из-за локального уменьшения толщины некоторых промежуточных слоев сетчатки. Это пятно, находящееся в центре поля зрения, занимает очень важное положение, и очевидное назначение поверхностного углубления состоит в том, чтобы позволить свету достигать нижележащего бактериального слоя с как

можно меньшими препятствиями. Примечательно, что бактериальный слой под желтым пятном полностью состоит из колбочек, в то время как палочек, которых в других местах в избытке, совершенно не хватает.

Единственный другой аксессуар зрительного аппарата, о котором я буду говорить, - *эторадужная оболочка* (II, [рис. 2](#)), цветной диск с центральной перфорацией. Это видно через роговицу и, следовательно, является очень знакомым объектом. Радужная оболочка служит той же цели, что и упор, или диафрагма, фотографического объектива, ее функция заключается в ограничении и регулировании количества света, попадающего в глаз. Размер центрального отверстия, или *зрачка*, автоматически меняется в зависимости от интенсивности освещения: при ярком освещении отверстие становится маленьким; при слабом освещении или в темноте оно увеличивается. Зрачок также сужается, когда глаз сфокусирован на близком объекте, и расширяется, когда взгляд направлен вдаль.

Этот краткий очерк может дать некоторое представление о сложности и утонченности зрительного аппарата. Были затронуты лишь некоторые из его наиболее заметных черт; когда мы углубляемся в детали, сложность становится ошеломляющей. Даже такие простые на вид вещи, как роговица и стекловидное тело, при ближайшем рассмотрении оказываются устроенными наиболее продуманно. Многие, без сомнения, еще предстоит открыть, и многое из того, что уже было исследовано, в настоящее время понято лишь частично.

И все же, хотя верно, что человек “ужасно и чудесно устроен”, столь же верно и то, что он далек от совершенства; и хотя во всей анатомии человека нет структуры, которая демонстрировала бы такое изобилие чудес, как глаз, возможно, нет ни одной, которая была бы отмечена столь поразительными несовершенствами.

Многие из его дефектов тем более поразительны, что они настолько очевидны, что никогда не были бы допущены в оптических приборах человеческого производства. В любой достаточно хорошей камере, телескопе или микроскопе мы должны ожидать, что линзы будут иметь симметричную форму, без полос и правильно отцентрированы; также они будут ахроматическими и с эффективной коррекцией сферической аберрации. На глаз не выполняется ни одно из этих элементарных требований.

Внешняя поверхность хрусталика, образованная водянистой влагой и роговицей, не является поверхностью вращения, какой ее можно было бы придать на токарном станке или линзошлифовальном станке; ее кривизна больше в вертикальном направлении, чем в горизонтальном, и, следовательно, нарушается четкость сфокусированного изображения. Опять же, хрусталик состоит из ряда отдельных частей, которые соединены вместе несовершенно. Вдоль стыков возникают полосы, и проходящий через них свет, вместо того чтобы равномерно преломляться, рассеивается неравномерно. Более того, система линз не центрирована на общей оси; она также не является ахроматической, в то время как средства, используемые для коррекции сферической аберрации, неадекватны. Покупатель оптического прибора, у которого оказались подобные неисправности, несомненно, имел бы право, как заметил покойный профессор Гельмгольц, вернуть его производителю и сурово обвинить его в небрежности.

Я бы, конечно, не поверил, что ученые настолько тщеславны, чтобы воображать себя способными создать глаз лучше, чем тот, который можно найти в природе. Это было бы

абсурдом. Они вполне готовы признать, что могут существовать достаточно веские причины для указанных несомненных недостатков, а также для других, которые будут упомянуты позже. Действительно, хорошо известно, что общая эффективность машины в целом часто может быть наилучшим образом обеспечена за счет принесения в жертву идеального совершенства некоторых ее частей.

При всех своих аномалиях глаз выполняет свою надлежащую функцию очень безупречно, и те, кто изучал его наиболее внимательно, относятся к нему с чувством удивления и скромного восхищения.^[3]

ГЛАВА II.

ЦВЕТ И ЕГО ВОСПРИЯТИЕ.

В предыдущей главе объяснялось, что мы видим предметы с помощью света — излучаемого или отраженного, — который поступает от них к глазу и соответствующим образом распределяется по сетчатке под действием системы линз.

Теперь сформированное таким образом “изображение” обычно не воспринимается как простое монохромное, более темное в одних частях, более светлое в других, как черно-белая гравюра. По крайней мере, в большинстве случаев он характеризуется разнообразием цветов, светом, который исходит от разных объектов, или от разных частей одного и того же объекта, обладающим способностью вызывать различные цветовые ощущения. Свет, обладающий свойством вызывать ощущение любого цвета, обычно называют цветным светом. Свет, отражаемый солдатской шинелью, например, можно назвать красным светом, потому что, когда он попадает в глаз, возникает ощущение покраснения. Но следует понимать, что этот способ выражения является всего лишь удобной аббревиатурой, поскольку, конечно, у самого света или “излучения” не может быть объективного цвета.

Чем же тогда цветной свет отличается от белого? Почему предметы кажутся по-разному окрашенными при освещении бесцветным светом? И как цветные огни воздействуют на органы зрения, вызывая соответствующие ощущения? Это вопросы — первые два физического характера, последний частично физиологический и частично психологический, — которые сейчас предлагается обсудить.

Этот вопрос уже затрагивался, хотя и очень слабо, в связи со спектром. Давайте снова обратимся к спектру и рассмотрим его немного более полно.

Легко видеть, что светящаяся полоса содержит шесть основных оттенков или тонов цвета — красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий и фиолетовый. (См. [Рис. 1, стр. 12.](#)) Однако они переходят друг в друга так постепенно, что невозможно точно сказать, где начинается и заканчивается какой-либо один цвет. Посмотрите, например, на несколько узкую, но очень

заметную полосу желтого цвета. Справа от этой полосы цвет постепенно становится зеленовато-желтым; немного дальше он становится желтовато-зеленым, и, наконец, путем незаметных переходов достигается полный, чистый зеленый цвет.

Шесть наиболее ярких оттенков спектра фактически дополняются огромным множеством второстепенных, общее число которых глаз может распознать как отдельные составляет не менее тысячи. Здесь представлены все цвета, которые мы видим в природе, за исключением пурпурного (о котором я скажу позже подробнее), и каждая отдельная разновидность тона в призматической шкале соответствует одной, и только одной, определенной длине волны света.

Источником всех этих цветов, как мы знаем, является луч белого или бесцветного света, составляющие которого отсортированы и расположены таким образом, что они падают рядом на экран в порядке их нескольких длин волн. Если бы, таким образом, все эти цветные составляющие были снова смешаны вместе, было бы разумно ожидать, что будет воспроизведен чистый белый свет.

Эксперимент проводился множеством различных способов, некоторые из которых были изобретены самим Ньютоном, и результат не вызывает никаких сомнений. Метод, который я намереваюсь описать, не так прост, как некоторые другие, но он имеет большие преимущества в плане удобства манипулирования и предоставляет средства для демонстрации ряда интересных цветовых эффектов в понятной форме. Простой операцией отведения линзы в сторону от светового пути мы можем собрать и тщательно смешать вместе все разноцветные лучи спектра и заставить их образовать на экране яркое круглое пятно, которое, хотя и является абсолютно белым из-за смешения тысячи различных оттенков. Когда линза заменяется, что происходит мгновенно, смесь снова анализируется на составные части, и спектр появляется снова.

Устройство устройства, которое, по сути, такое же, как изобретенное капитаном Эбни и названное им “устройством для определения цвета”, показано на прилагаемой схеме (рис. 3).

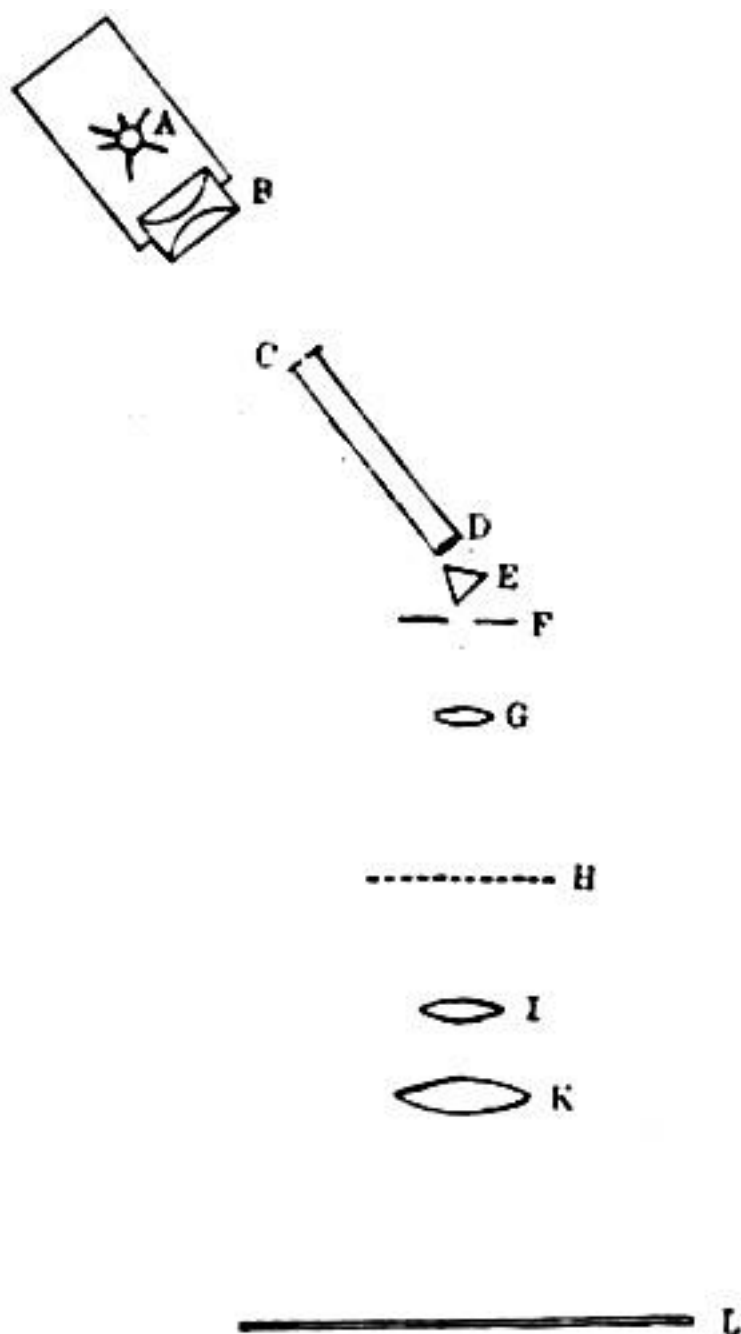


Рис. 3. Устройство для нанесения цветных пятен Эбни.

Свет электрической лампы А, размещенной внутри фонаря, концентрируется конденсирующими линзами В на узкой регулируемой щели С. Каркас этой щели прикреплен к одному концу трубы телескопа, на другом конце которой установлена ахроматическая линза D с фокусом около 10 дюймов. Лучи, оказавшиеся параллельными с помощью D, преломляются призмой E; затем они проходят через круглое отверстие в латунной пластине F к линзе G, фокусное расстояние которой составляет 7 дюймов, и образуют небольшой яркий спектр на белой карточке, удерживаемой в рифленной подставке в точке H. Извлекая карту, мы устанавливаем на K объектив диаметром $5\frac{1}{2}$ дюйма и фокусным расстоянием 18 дюймов или

более и настраиваем его так, чтобы на удаленном белом экране L. формировалось четко очерченное изображение отверстия в латунной пластине F. Если все линзы расположены правильно, это изображение, хотя и сформировано полностью лучами, которые составляли небольшой спектр в точке H, будет совершенно бесцветным даже по краям.

Если мы хотим спроецировать на экран L увеличенное изображение малого спектра, нам остается только использовать другой подходящий объектив I в сочетании с K: диаметр используемого мной объектива составляет 2½ дюйма, а его фокусное расстояние 6½ дюйма. Когда мы опытным путем определим положение, в котором этот дополнительный объектив дает наиболее четкое изображение[4], будет легко подобрать приспособление для его правильного снятия и замены без необходимости какой-либо дальнейшей регулировки.

Таким образом, этот прибор показывает, что обычный белый свет можно рассматривать как смесь всех разноцветных огней, встречающихся в спектре, и, следовательно, ощущение, возникающее при его попадании на глаз, является сложным.

Из этих и подобных экспериментов неопит-ученый, скорее всего, сделает ошибочный вывод. Белый свет, как он склонен думать, *всегда* возникает в результате совместного действия лучей всех возможных длин волн, в то время как цветной свет состоит только из лучей с одной определенной длиной волны. Ни один из этих выводов не был бы правильным. Неверно, что белый свет обязательно содержит лучи всех возможных длин волн: ощущение белизны может, как будет показано ниже, столь же эффективно создаваться комбинацией всего двух или трех различных длин волн. Неверно и то, что такие цвета, которые мы видим в природе, всегда обусловлены светом с одной длиной волны; свет такого рода действительно редко встречается за пределами лабораторий и лекционных залов. Гораздо чаще цветной свет состоит из смешанных лучей, и, подобно обычному белому свету, он может содержать и обычно содержит все цвета спектра, но в разных пропорциях.

Это последнее утверждение легко доказать. С помощью карточки мы можем перехватить часть небольшого спектра, сформированного в точке H (рис. 3). Темная тень карты в увеличенном спектре на экране показана на рис. 4. Следует заметить, что тень отсекает только часть красного, оранжевого и желтого света, позволяя остальному проходить через проекционные линзы. По-прежнему присутствуют лучи всех возможных длин волн, от ярко-красных до ярко-фиолетовых, но доля лучей, обращенных к красному концу, меньше, чем была до того, как карта была вставлена.



Рис. 4. Частично перехваченный спектр.

Если теперь мы уберем линзу I (рис. 3) и таким образом смешаем цвета этого искаженного спектра, яркое круглое пятно, на которое падают смешанные лучи, на экране будет казаться уже не белым, а зеленовато-голубым. Если мы переместим карту на другой конец малого спектра, чтобы вызвать частичное затмение фиолетового, синего и зеленого лучей, цвет пятна изменится на оранжевый. Если мы полностью удалим карточку, пятно снова станет белым.

Из этого *тем более* следует, что когда какая-либо часть малого спектра затмевается полностью, а не только частично, свет от остальной части спектра при объединении будет казаться окрашенным. Очень красивые изменения оттенка демонстрирует яркое пятно, когда узкая непрозрачная полоска, такая как маленькое лезвие карманного ножа, медленно перемещается по небольшому спектру в точке Н, последовательно затмевая различные его участки. Сначала пятно становится зеленым, затем незаметными переходами оно последовательно меняется на синий, фиолетовый, алый, оранжевый, желтый и, наконец, когда нож завершает свой путь, весь цвет исчезает, и пятно снова становится белым.

Мы можем усовершенствовать этот грубый эксперимент и, следуя плану капитана Эбни, приготовить несколько маленьких картонных трафаретов с отверстиями, соответствующими любым выбранным частям малого спектра. Когда подготовленная таким образом карта помещается в точку Н (рис. 3), яркое пятно на экране образуется за счет комбинации выбранных лучей, все остальные гасятся. Мы обнаружим, что при этих условиях яркое пятно обычно, но не всегда, окрашено.

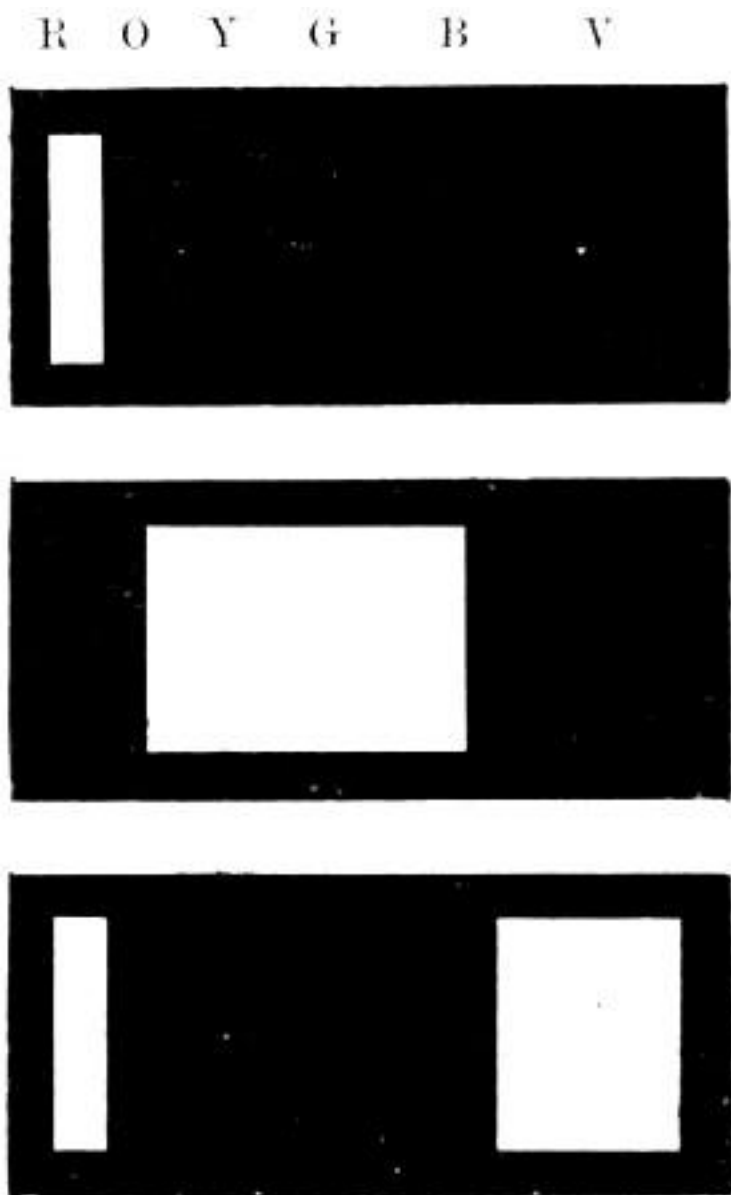


Рис. 5. Карточки—трафареты.

Первая диаграмма на [рис. 5](#) представляет собой карту черного цвета, которая пропускает только красный цвет и немного оранжевого. Когда он вставляется в рифленый держатель в точке Н, яркое пятно немедленно становится красным. На второй диаграмме показан другой, который передает среднюю часть спектра, но блокирует красный и фиолетовый на двух его концах: на этой карточке цвет пятна становится зеленым. На третьей карте есть отверстия для фиолетового и красного лучей: это придает пятну красивый фиолетовый оттенок, который, как уже упоминалось, не создается светом какой-либо отдельной длины волны. Пурпурные цвета представляют собой смесь красного и фиолетового или красного и синего.

Теперь в моем распоряжении есть три куска стекла (или, если быть строго точным, два куска стекла и одна желатиновая пленка на стекле), которые, будучи помещенными поперек луча света либо в точке Н ([рис. 3](#)), либо в любом другом месте, ведут себя точно так же, как эти три

картонных трафарета. Первое стекло отсекает весь спектр, кроме красного и части оранжевого, точно так же, как это делает первый трафарет, хотя линия разграничения не такая четкая. На самом деле это кусок красного стекла, или, другими словами, свет, который он пропускает, создает ощущение красного цвета. Второе стекло, как и второй трафарет, позволяет свободно проходить всем спектральным лучам, за исключением красного и фиолетового, которые исчезают, как будто им мешает непрозрачное тело. Это зеленое стекло. И третий (который на самом деле представляет собой желатиновую пленку) отсекает середину спектра, но передает красный и фиолетовый концы. Цвет желатина фиолетовый.^[5]

Рассматриваемые очки и желатин действуют подобно картонным трафаретам, полностью отсекая одни спектральные лучи и пропуская другие, и своими видимыми цветами они обязаны комбинированному воздействию, которое проходящие лучи оказывают на глаз. Многие другие цветные стекла просто ослабляют часть лучей, не гася их полностью. Например, кусок бледно-желтого стекла, помещенный на пути луча света, из которого формируется спектр на экране, просто уменьшает яркость синей области и не гасит полностью ни один из лучей; и опять же, обычный вид стекла фиолетового цвета ослабляет, но не полностью стирает среднюю часть спектра.

Из подобных наблюдений мы заключаем, что стекла приобретают соответствующие цвета в зависимости от падающего на них света. Первый стакан не казался бы красным, если бы его рассматривали при свете, не содержащем красных лучей. Это легко доказать экспериментом с устройством для определения цвета. Когда спектр снова объединится в ярко-белое пятно (которое становится красным, если на мгновение подставить стекло), пусть все красные лучи и часть оранжевого будут срезаны подходящим трафаретом. Повторно объединенный свет больше не белый, а зеленовато-голубой, о чем свидетельствует цвет пятна; и ничто, освещенное этим светом, не может казаться красным. Кусок красного стекла, помещенный в луч, теперь будет отбрасывать идеально черную тень, а квадрат ярко-красной бумаги, зажатый посередине пятна, будет выглядеть черным, как чернила. Позже будет показано, как мы можем получить свет, который, хотя и кажется глазу, что он ничем не отличается от обычного белого дневного света, все же не содержит красной составляющей и, следовательно, так же бессилен, как этот зеленовато-голубой свет, выявить какой-либо красный цвет в объектах, которые он освещает.

Если мы заменим трафарет, пропускающий только красные лучи, мы получим луч света, в котором нельзя увидеть ничего, кроме красного. Зеленые и синие стекла при таком освещении отбрасывают черные тени, в то время как кусочки зеленой и синей бумаги становятся либо черными, либо темно-серыми.

Таким образом, мы видим, что цвета прозрачных объектов, таких как очки, использованные в этих экспериментах, проявляются в процессе фильтрации. Некоторые изокрашенные компоненты белого света отфильтровываются и гасятся внутри стекла, а наблюдаемый цвет обусловлен остальными ингредиентами, которые беспрепятственно проходят через стекло. Энергия поглощенных лучей, конечно, не теряется, поскольку энергия, как и материя, неразрушима. Она преобразуется в тепло. Цветное стекло, помещенное в сильный луч света, за короткое время станет заметно теплее, чем прозрачное и бесцветное.

Изучая цветовые эффекты, создаваемые цветными стеклами, мы в то же время изучали, как подавляющее большинство природных объектов — не только прозрачных, но и так называемых непрозрачных — приобретают свои цвета. Ибо истина заключается в том, что мало что является

совершенно непрозрачным. Когда белый свет падает на окрашенное тело, он обычно проникает на небольшую глубину под поверхность и при этом теряет из-за поглощения некоторые из своих цветных компонентов, точно так же, как это происходит при прохождении через кусочки стекла. Но прежде чем он продвинется очень далеко — обычно гораздо меньше тысячной доли дюйма — он сталкивается с рядом небольших отражающих поверхностей из-за оптических неровностей, которые возвращают свет обратно и вынуждают его проходить во второй раз через ту же толщу вещества: таким образом, он просеивается еще эффективнее и, выйдя наружу, приобретает цвет благодаря таким компонентам, которые не были погашены в ходе их двойного прохождения через поверхностный слой вещества.

Любые цветные лучи, отраженные объектом, обязательно должны содержаться в свете, при котором виден объект. Следующий любопытный эксперимент иллюстрирует это.

Большой яркий спектр проецируется на экран, а в его зеленой или синей части удерживается настенный плакат. Буквы и цифры на бумаге выделяются жирным шрифтом, как будто напечатаны самыми черными чернилами. Но если плакат переместить в красную часть спектра, печать сразу же исчезнет, как по волшебству, и бумага станет совершенно чистой. Объясняется это тем, что буквы напечатаны красными чернилами — они не могут отражать никакой свет, кроме красного. Падающий на них зеленый или синий свет поглощается и гаснет, и буквы, следовательно, кажутся черными. С другой стороны, когда плакат освещается красными лучами спектра, буквы отражают столько же света, сколько и сама бумага, и поэтому неотличимы от нее.

Все, что при освещении источником белого света одинаково отражает все его различные компоненты и не поглощает большую долю одних по сравнению с другими, кажется белым или серым. Между белым и серым нет существенной разницы, за исключением яркости, то есть количества света, отражаемого глазом, или — если вернуться еще на шаг назад — амплитуды эфирных волн. При различных условиях освещения любое вещество, одинаково отражающее все лучи спектра, может казаться либо белым, либо серым, либо даже черным. Снежный ком можно легко сделать чернее смолы, а кусок смолы — белее снега.

То, что солнечный свет должен быть белым, должно быть, поразило многих из тех, кто вообще задумывался об этом вопросе, как самое замечательное совпадение. Белый свет, как мы видели, состоит из смеси разноцветных лучей в очень разных и, по-видимому, произвольных пропорциях, и если бы эти пропорции были немного изменены, свет уже не был бы совершенно бесцветным. Ни один обычный искусственный свет не бывает таким точно белым, как солнечный. Свет свечей, газовых, масляных и электрических ламп накаливания желтый; свет электрической дуги (когда на нее не влияет атмосферное поглощение) синий, а свет газовой горелки накаливания зеленый. Чрезвычайно удобно, что свет, который служит нам большую часть нашей бодрствующей жизни, устроен именно так, что он бесцветен.

Но при небольшом дальнейшем размышлении, я думаю, окажется, что это неправильный взгляд на этот вопрос. Именно потому, что оттенок, называемый белым, ассоциируется со светом нашего солнца, мы рассматриваем белизну как синоним отсутствия цвета. Мы принимаем солнечный свет за стандарт нейтральности, и все, что отражает его без изменения пропорций составляющих, мы считаем бесцветным.

Не может быть никаких сомнений в том, что если бы солнце было фиолетовым, а не белым, наши чувства по отношению к этим двум оттенкам поменялись бы местами; мы вполне естественно говорили бы о “чистом фиолетовом цвете, полностью лишенном каких-либо следов цвета”, или, возможно, описали бы женский костюм как “безвкусно белый”.

Даже при нынешнем положении вещей стандарт нейтральности не является достаточно жестким. У нас есть склонность рассматривать любой искусственный свет, которым мы, возможно, пользуемся, как более бесцветный, чем он оказался бы при непосредственном сравнении с солнечным светом. Если в середине дня мы внезапно входим в комнату, освещенную газом, мы не можем не заметить, каким интенсивно-желтым кажется освещение на первый взгляд; однако через несколько минут цвет теряет свою навязчивость, и мы перестаем обращать на него особое внимание.

Этот эффект может быть частично физиологическим, зависящим от неодинаковой усталости различных воспринимающих нервов сетчатки; но я полагаю, что в значительной степени он обусловлен ментальными суждениями. Стандарт белизны, или нулевого цвета, по-видимому, может быть изменен в определенных пределах за очень короткое время, и, как мы увидим позже, это лишь один из многих случаев, когда наши органы зрения, по-видимому, неспособны распознать постоянный эталон.

А теперь давайте рассмотрим, как получается, что каждая элементарная часть сетчатки — по крайней мере, в ее центральной области — обладает способностью различать так много сотен различных оттенков. Невероятно, чтобы каждая маленькая область микроскопических размеров была снабжена таким множеством независимых органов, которые были бы необходимы, если бы каждый из множества цветов, встречающихся в природе, требовал отдельного органа для своего восприятия; и нет необходимости предполагать что-либо подобное.

Эксперимент показывает, что все различные оттенки спектра, а также все (включая белый), которые могут быть образованы из их смеси, могут быть получены не более чем из трех различных цветов. На самом деле существует неопределенное количество цветовых триад, которые в подходящих сочетаниях способны вызывать ощущение любого тона, подкрашивания и оттенка цвета, который когда-либо видел человеческий глаз.

В старомодных книгах, таких как раннее издание “Физики” Гано, говорится, что тремя “основными” цветами являются красный, желтый и синий, а все остальные образуются в результате их смешения. Это было основой теории сэра Дэвида Брюстера, которая приобрела очень широкую популярность и даже в настоящее время считается догматом среди подавляющего большинства интеллигентных людей, не уделявших науке никакого особого внимания. Но это неправда. Фатальным возражением против этого является хорошо установленный факт, что никакая комбинация красного, желтого и синего или любых двух из них, таких как синий и желтый, например, не даст зеленого цвета.

Однако каждый художник знает, что если он смешает синий и желтый пигменты, то получится зеленый. Это одна из первых вещей, которую ребенок узнает, когда ему разрешают поиграть с коробкой акварелей, и, без сомнения, Брюстера этот факт ввел в заблуждение.

Правда в том, что цвета всех или почти всех известных синих и желтых пигментов являются составными. Обычная синяя краска отражает не только синий свет, но и большое количество

зеленого; в то время как обычная желтая краска отражает большое количество зеленого света в дополнение к желтому. Когда такие краски смешиваются вместе, синий и желтый оттенки нейтрализуют друг друга, и остается только зеленый, который является общим для обоих.

Спектрометрический аппарат сделает это более понятным. Поднесите к щели кусочек ярко-синего стекла; свет, проходящий через стекло, будет проанализирован призмой, и вы увидите, что в нем действительно содержится почти столько же зеленого, сколько синего. Если заменить желтое стекло, будет пропускаться не только желтый свет, но, как и раньше, значительное количество зеленого. Что произойдет, если теперь оба стекла поместить вместе перед щелью? Желтое стекло остановит синий свет, пропускаемый синим стеклом, синее стекло остановит желтый свет, пропускаемый желтым стеклом, и только зеленый свет, пропускаемый обоими стеклами, будет проходить беспрепятственно, образуя на экране полосу чистого зеленого цвета.

Сочетание простых синих и желтых источников света с подходящей относительной яркостью приводит к образованию белого или нейтрального света. Если синего немного больше, комбинированный свет будет иметь голубоватый оттенок; если желтого больше, комбинация будет иметь желтоватый оттенок. В ней никогда не будет никаких следов зеленого. Комбинация простого спектрального синего и желтого легко достигается с помощью устройства для определения цвета, и будет обнаружено, что результат подтверждает сказанное.

Поскольку, таким образом, никакая смесь красного, желтого и синего или любых двух из них не приведет к образованию зеленого, мы не можем рассматривать эти цвета как первичные в понимании Брюстера.

Но вполне возможно найти группу из трех различных оттенков — и даже множество таких групп, — которые при одновременном воздействии на глаз в правильных пропорциях могут вызвать ощущение любого цвета. Этот экспериментальный факт, очевидно, наводит на мысль о возможном обратном, а именно о том, что почти каждое цветовое ощущение в действительности может быть сложным, возникающим в результате не более чем трех простых ощущений. Если предположить, что это так, то очевидно, что если бы каждая элементарная область сетчатки была снабжена только тремя подходящими цветовыми органами, ничего больше не требовалось бы для восприятия неопределенного числа различных цветов.

Такая гипотеза была впервые предложена Томасом Янгом в начале нынешнего столетия; но она появилась раньше времени и не привлекала к себе внимания до пятидесяти лет спустя, когда она была раскрыта выдающимся физиком и физиологом Гельмгольцем, который оказал ей свою мощную поддержку и модифицировал ее в одной или двух важных деталях.

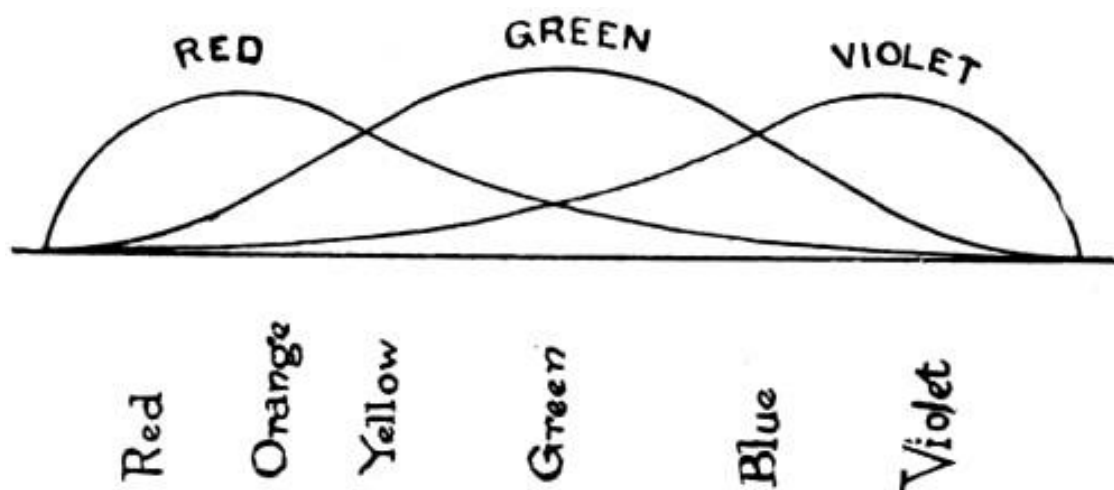


Рис. 6. Кривые цветовосприятия Гельмгольца.

Согласно теории Юнга-Гельмгольца, как ее сейчас называют, существует три различных вида нервных волокон, распределенных по сетчатке. Первые, при раздельной стимуляции, вызывают ощущение красного, вторые - зеленого, а третьи - фиолетового. Свет, имеющий ту же длину волны, что и крайние красные лучи спектра, стимулирует только красные нервные волокна; свет, имеющий ту же длину волны, что и крайние фиолетовые лучи, стимулирует только фиолетовые нервные волокна. Свет всех промежуточных длин волн, соответствующих оранжевому, желтому, зеленому и синему цветам спектра, стимулирует все три набора нервных волокон одновременно, но в разной степени. Пропорциональная стимуляция красного, зеленого и фиолетового нервов по всему спектру показана на [рисунке 6](#), который основан на грубом наброске, впервые представленном Гельмгольцем. Как будет видно, желтые лучи спектра возбуждают красные и зеленые нервы сильно, а фиолетовые слабо; зеленый свет возбуждает зеленые нервы сильно, а красный и фиолетовый умеренно; в то время как синий свет возбуждает зеленые и фиолетовые нервы сильно, а красный слабо.

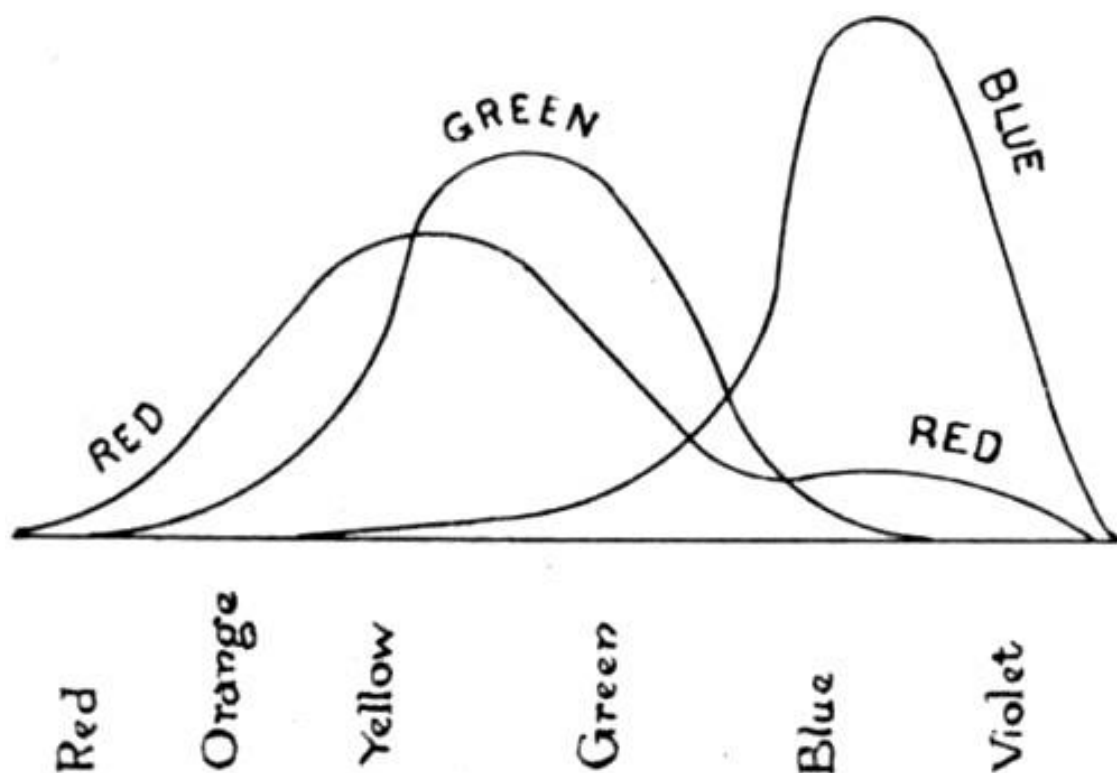


Рис. 7.Кривые Кенига.

На рис. 7 показан другой набор кривых, приведенный совсем недавно доктором Кенигом в результате многих тысяч экспериментов, проведенных не только на людях с нормальным зрением, но и на некоторых дальтониках. Кениг обнаружил, что полученным им уравнениям лучше всего удовлетворяют, если принять в качестве нормальных основных ощущений пурпурно-красный (отсутствующий в спектре), зеленый, подобный цвету волны длиной 5050, и синий, подобный цвету волны длиной примерно 4700, однако два последних являются более чистыми или насыщенными, чем любой реальный цвет спектра. Но кривые Кенига согласуются не с каждым классом зрения, который он исследовал, и вопрос о том, каковы истинные фундаментальные цветовые ощущения, если таковые вообще существуют, пока нельзя считать окончательно решенным.^[6]

Теория цветовидения Юнга-Гельмгольца, независимо от того, суждено ей или нет в будущем быть вытесненной какой-либо другой, в любом случае оказалась бесценным руководством в экспериментальной работе, и существует очень мало цветовых явлений, которым она не может дать удовлетворительного объяснения. В настоящее время у нее есть только один серьезный соперник — теория Геринга, которая, хотя и кажется удивительно привлекательной для многих физиологов, вряд ли можно сказать, что она представляет менее серьезные трудности, чем та, которую она стремится вытеснить. Ни одна из этих конкурирующих теорий еще не подтвердила свои фундаментальные предположения какими-либо прямыми доказательствами, и преимущество должно принадлежать той, которая наилучшим образом согласуется с фактами цветового зрения. По моему мнению, более старая из двух должна быть предпочтительнее в качестве полезной рабочей гипотезы.

Определенные особенности зрения, с которыми я собираюсь разобраться в одной из будущих глав, зависят от свойств так называемых дополнительных цветов. Считается, что два цвета дополняют друг друга, когда их сочетание в надлежащих пропорциях приводит к образованию белого.

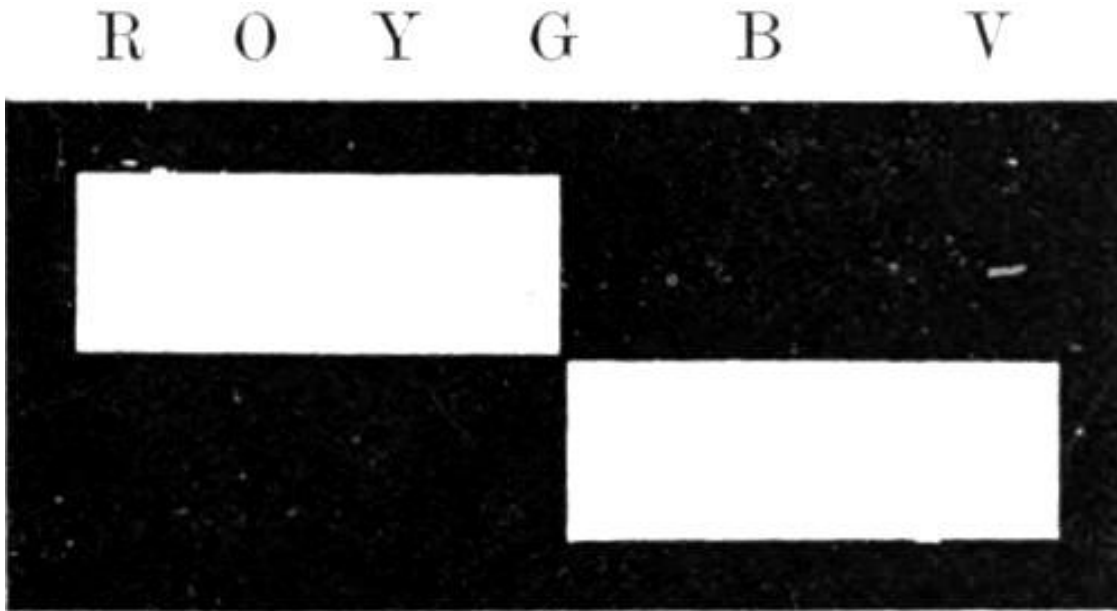


Рис. 8. Карточка—трафарет для дополнительных цветов.

Если мы получаем составной оттенок путем смешивания цветов любой части спектра и второй составной оттенок путем смешивания остальной части спектра, должно быть очевидно, что эти два оттенка обязательно дополняют друг друга, поскольку, когда они объединены, они содержат вместе все элементы всего спектра и, следовательно, выглядят как белый. Это можно проиллюстрировать с помощью устройства для нанесения цветных пятен. Поместите в точке Н (рис. 3) картонный трафарет формы, показанной на рис. 8, и сфокусируйте на нем небольшой спектр, основные оттенки которого обозначены буквами R O Y G B V (красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий, фиолетовый). Два продолговатых отверстия в карточке должны быть абсолютно одинаковой высоты, а карточка должна располагаться таким образом, чтобы одно отверстие могло пропускать лучи, простирающиеся от красного конца спектра примерно до середины зеленого, в то время как другое пропускает лучи из остальной части спектра. Если теперь закрыть нижнюю диафрагму, то через трафарет пройдут только красный, оранжевый, желтый и часть зеленого лучей, и они, будучи объединены линзой К (рис. 3), сформируют на экране яркое пятно, цвет которого будет желтым. Если закрыть верхнее отверстие, а остальной части зеленого вместе с синим и фиолетовым лучами позволить проходить через другое, цвет пятна станет синим; а если открыть оба отверстия одновременно, лучи со всей длины спектра пройдут через трафарет, и пятно, конечно, станет белым. Желтый и синий, которые были составлены из двух частей спектра, следовательно, в соответствии с определением, являются дополнительными цветами.

Аналогичным образом, разделив спектр на любые две части — как, например, с помощью сложной схемы, показанной на [рис. 9](#), — мы можем получить неопределенное количество пар дополнительных цветов.

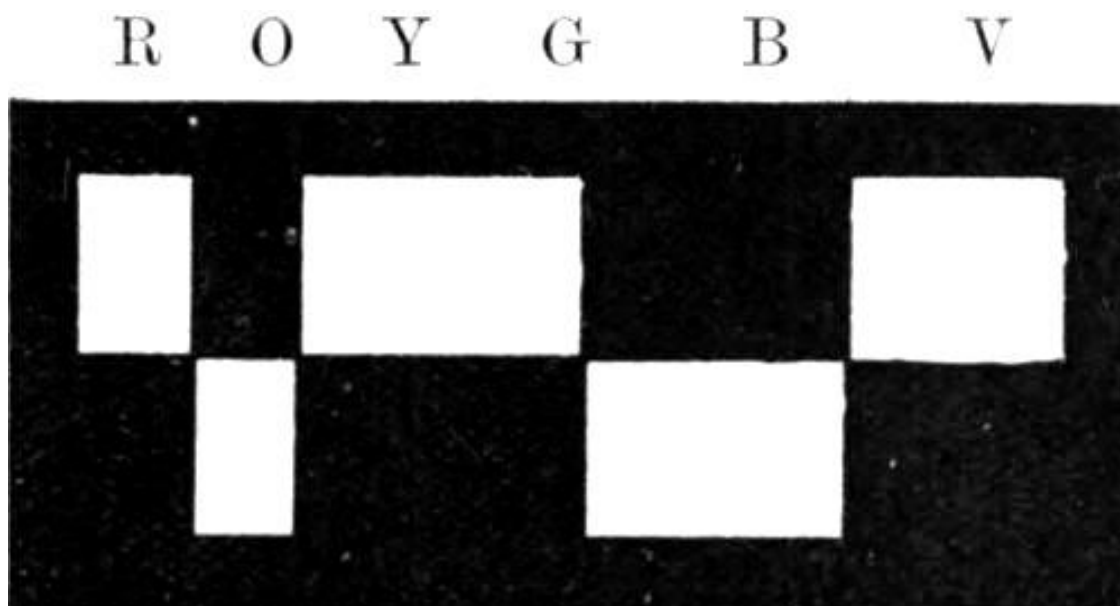


Рис. 9. Карточка—трафарет для дополнительных цветов.

Но ни в коем случае не обязательно, чтобы оба или любая из пар взаимодополняющих цветов были составными. Чтобы доказать это, приготовьте две полоски картона с узкими вертикальными отверстиями А и В, как показано на [рис. 10](#). Карточки располагаются одна над другой, и их можно сдвигать в горизонтальном направлении, так что узкие отверстия можно перенести в любую желаемую часть спектра, которая обозначена продолговатым пунктиром.

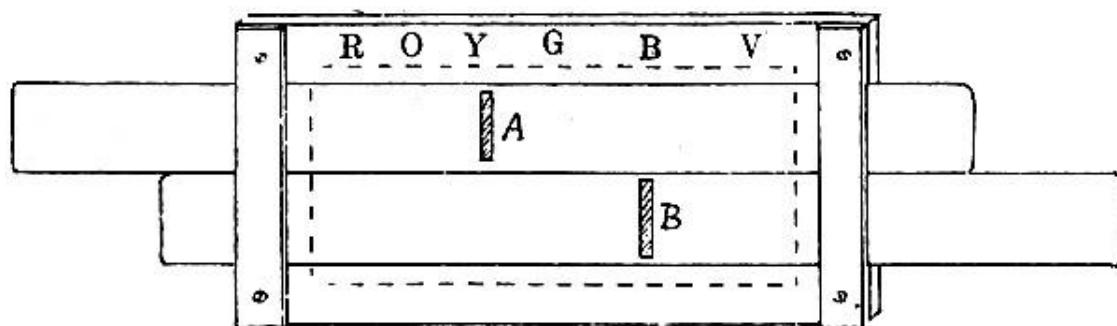


Рис. 10. Предметное стекло для смешивания любых двух спектральных цветов.

Окрасьте отверстие А верхней карты в желтый цвет спектра, а отверстие В нижней карты - в синий. Яркое пятно, образовавшееся на экране, будет затем освещено простыми синими и

желтыми лучами; однако оно будет белым, а не зеленым, как было бы, если бы теория Брюстера была верна. Если при первом испытании белизна не должна быть абсолютно чистой, этого можно легко добиться, частично покрыв либо А, либо В - первую, если белизна желтоватая, вторую, если она голубоватая. Следовательно, простые спектральные синий и желтый являются не менее взаимодополняющими цветами, чем составные оттенки, образующиеся при разделении спектра на две части.

Однако заметно, что белый свет, возникающий в результате сочетания синего и желтого, хотя и не может быть отличен глазом от обычного белого света, все же обладает совершенно иными свойствами. Большинство цветных предметов при его освещении сильно меняют свои оттенки; например, кусок ленты, который при обычном освещении ярко-красный, при сине-желтом освещении будет казаться темно-грифельным, почти черным.

Если отверстие А расположено в любой части спектра, кроме зеленого, всегда будет возможно, перемещая В назад или вперед, найти какую-либо другую часть, где цвет дополняет цвет в А. К зеленому нет простого дополнения; требуется фиолетовый, которого нет в спектре, но который может быть сформирован путем сочетания небольших участков спектрального синего и красного. Для изучения сочетаний трех простых цветов можно добавить третий слайд к двум, показанным на [рис. 10](#).

В следующей небольшой таблице приведены основные пары дополнительных цветов.

Таблица дополнительных цветов.

Красный	Зеленовато-голубой
Оранжевый	Небесно-голубой
Желтый	Синий
Зеленовато-желтый	Фиолетовый
Зеленый	Фиолетовый

ГЛАВА III.

НЕКОТОРЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ ГЛАЗА.

Неоднократно упоминался тот факт, что зрение, даже в его наилучшем нормальном состоянии, характеризуется определенными дефектами и аномалиями. Некоторые из них возникают непосредственно по причинам, заложенным в устройстве самого глаза, и могут быть широко классифицированы как физические; другие имеют психологическое происхождение и являются результатом ошибочных интерпретаций, которые разум дает явлениям, представленным ему через зрительный нерв и мозг.

Среди многочисленных физических дефектов глаза нет более примечательного, чем отсутствие средств для надлежащей коррекции хроматической аберрации. Этот дефект примечателен тем, что он кажется — по крайней мере, тем, кто не имеет реального опыта в изготовлении глаз, — таким, которого можно было бы очень легко избежать. Насколько может судить простой теоретик, ахроматическое расположение линз было бы таким же простым и таким же дешевым (если я могу использовать этот термин), как и то расположение, которым мы располагаем. Это правда, что нам удастся очень хорошо идти по жизни с нашими неисправленными линзами, и действительно, при обычном наблюдении вряд ли возможно обнаружить какие-либо свидетельства этого несовершенства. Тем не менее, его существование в вопиющей степени несомненно, и может быть легко продемонстрировано большим разнообразием методов. Неизбежен вывод, что с ахроматическими глазами наше зрение улучшилось бы, но не существует ли причин, по которым такое улучшение могло бы быть достигнуто только непропорционально высокими затратами, — это вопрос, на который в настоящее время невозможно ответить.

Не вдаваясь в вопросы, которые рассматриваются в каждом элементарном учебнике по оптике или общей физике, возможно, было бы желательно вкратце объяснить, что подразумевается под терминами "хроматическая аберрация" и "ахроматизм".

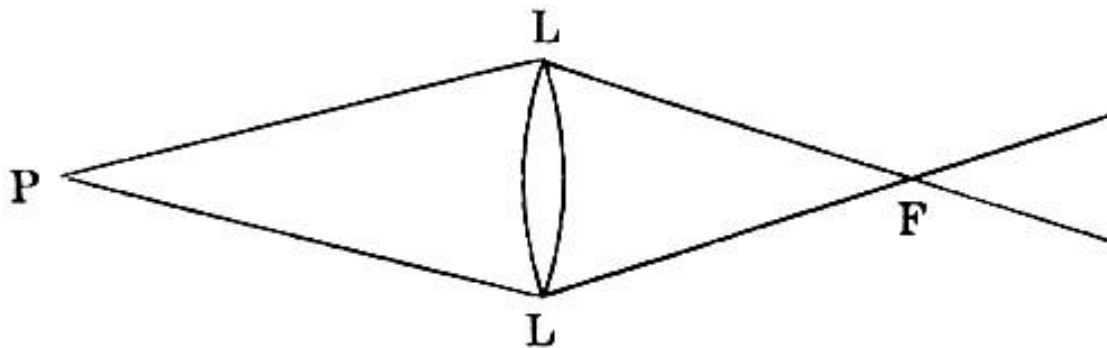


Рис. 11. Преломление монохроматического света линзой.

Пусть L , рис. 11, представляет в сечении круглую выпуклую линзу, а P — светящуюся точку, которую удобнее всего расположить на оси линзы. Представьте, что P в первую очередь окружен стеклянным абажуром, который пропускает только монохроматический красный свет. Столько света от P , которое падает на линзу, будет преломлено в точку, находящуюся в сопряженном фокусе F , и после прохождения этой точки снова разойдется; преломленные световые лучи фактически образуют двойной конус, вершиной которого является F . Если удерживать белый экран в положении F , то на нем будет сфокусировано небольшое четко очерченное изображение светящейся точки. Однако, если подвинуть экран ближе к объективу или дальше от него, конус света сократится, и изображение будет выглядеть уже не как точка, а как круглый красный диск, который будет тем больше, чем больше расстояние экрана от F . Такой диск известен как “рассеивающий круг”.

Предположим теперь, что мы заменим красное стекло, окружающее источник света, фиолетовым, способным пропускать не только красные, но и фиолетовые лучи. Линза приведет

к тому, что красный и фиолетовый лучи, проходящие через нее, сойдутся; но поскольку фиолетовые лучи более преломляемы — их легче преломлять или отклонять в сторону от их прямого направления, — чем красные, теперь будут два двойных конуса, как показано нарис. 12, где контуры красных конусов представлены сплошными линиями, а контуров фиолетовых — точками.

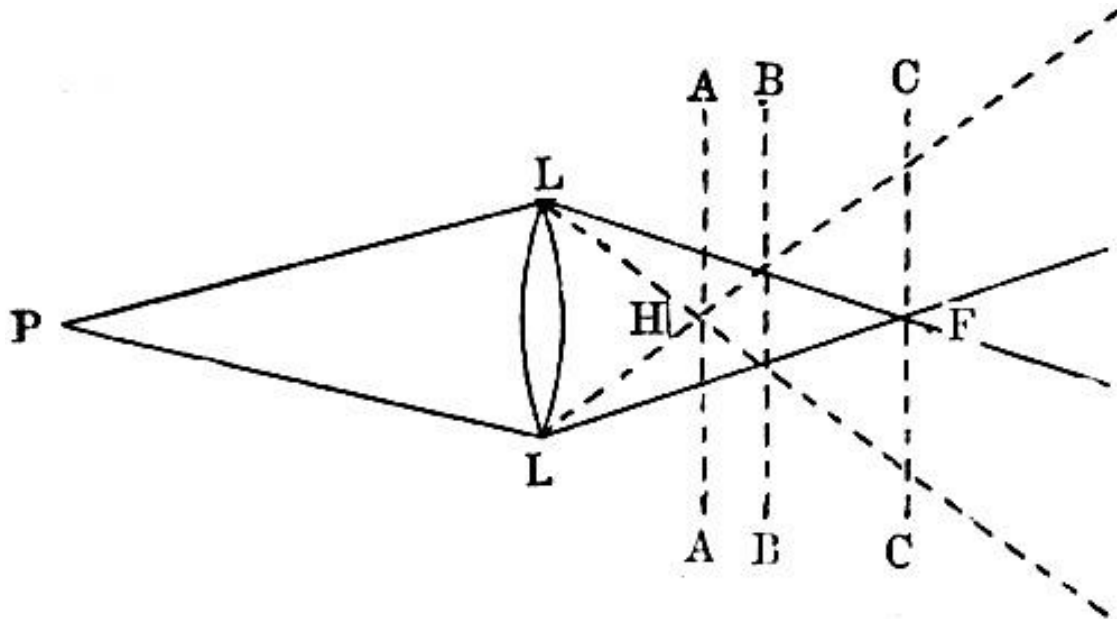


Рис. 12. Преломление дихроматического света.

Фокус красных лучей, как и прежде, будет находиться в точке F, но фокус фиолетовых лучей будет ближе к линзе, как и в точке H, и, поскольку это так, очевидно, что четко определенное изображение фиолетового источника света не может быть сформировано на экране, размещенном где-либо за линзой. Удерживаемый в положении, указанном линией Cc, где он проходит через фокус красных лучей, экран отсекает один из конусов фиолетового света, и изображение в точке F будет казаться окруженным фиолетовым ореолом. Удерживаемый в положении A A, экран, очевидно, получает изображение с красным ореолом вокруг него. Только в точке Bb, в плоскости, где поверхности красного и фиолетового конусов пересекают друг друга, можно будет получить изображение без цветной границы; но здесь хорошая четкость недостижима, поскольку ни красный, ни фиолетовый лучи не находятся в фокусе, а светящаяся точка представлена фиолетовым диском или рассеивающим кругом разумного диаметра.

Если позволить лучам любой возможной преломляемости падать на линзу, как в случае, когда источник света не защищен никаким цветным стеклом, образуется неопределенное количество пар конусов, вершины которых будут лежать вдоль прямой, соединяющей H и F. Ясно, что все эти конусы никак не могут пересекаться в одной плоскости, и следовательно, невозможно найти положение, в котором край проецируемого изображения был бы совершенно бесцветным, хотя на определенном расстоянии от объектива, где наиболее яркие составляющие света, а именно

желтый и зеленый, примерно сфокусированы, цветная граница наименее заметна и имеет фиолетовый оттенок из—за смеси красного и фиолетового лучей.

По этим причинам одна стеклянная линза не может, кроме как при однородном освещении, давать совершенно отчетливое изображение светящейся точки или освещенного объекта, поверхность которого можно рассматривать как совокупность точек. Поэтому такой объектив никогда не используется, когда требуется хорошая четкость изображения. Считается, что путаница, возникающая в результате неодинаковой преломляемости лучей разного цвета, вызвана хроматической аберрацией линзы.

В связи с этим вопросом в истории физической оптики есть небольшой интересный эпизод. Сэру Исааку Ньютону пришло в голову, что, хотя ни одна линза не может быть свободна от хроматической аберрации, все же можно было бы составить так называемую ахроматическую комбинацию линз таким образом, чтобы устранить дефект и свести все лучи, исходящие из точки, независимо от их преломляемости, в один фокус. Эксперименты, которые он предпринял с целью проверки этого вопроса, привели его к выводу, что такой результат никогда не может быть достигнут, поскольку степень дисперсии цвета во всех веществах, как он утверждал, всегда точно пропорциональна величине преломления. По этой причине он уверенно заявил, что пытаться построить действительно хороший телескоп-рефрактор бесполезно, и авторитет его имени был настолько велик, что на долгие годы все усилия в этом направлении были заброшены.

Тем не менее время от времени некоторые философы отваживались предположить, что Ньютон, возможно, ошибался, и любопытно, что все они основывали свой скептицизм на том, что они считали самоочевидным фактом ахроматизма глаза. Система линз в глазу, утверждали они, несомненно, ахроматична, так почему бы не создать искусственно столь же эффективную комбинацию?

Наконец, более чем через восемьдесят лет после того, как Ньютон провел и опубликовал свои фундаментальные эксперименты, работающему оптику Джону Доллонду, пришло в голову, что, возможно, стоило бы их повторить, и, сделав это, он сразу обнаружил, что Ньютон ошибался в своих фактах, а результаты, записанные им, прямо противоречили истине. При должном уважении к памяти великого человека обычно говорят о наблюдении Ньютона как о “поспешном”, но если бы в наши дни студент младших курсов был виновен в подобной оплошности, его поведение не было бы заклеянным как вопиющая небрежность.

Установив ошибку Ньютона, Доллонд без особых трудностей сконструировал ахроматические линзы очень удовлетворительного качества; телескопы его производства долгое время пользовались высочайшей репутацией, и лучшие оптические инструменты наших дней являются прямым результатом его изобретения.

Следовательно, правы были те, кто придерживался мнения, что вывод Ньютона был ошибочным, но примечательно, что причина, на которой основывалось это мнение, была совершенно несостоятельной, поскольку, как я уже сказал, хрусталики глаза ни в коем случае не ахроматичны. Из множества способов, которыми это можно продемонстрировать, следующий является одним из наиболее впечатляющих.

Пусть длинный и узкий спектр электрического света проецируется на белый экран, при этом призмы и линзы должны быть тщательно расположены таким образом, чтобы верхний и нижний

края спектра были четко определены и строго параллельны. Для наблюдателя, стоящего близко к экрану, спектр будет выглядеть как яркий разноцветный прямоугольник. Но при взгляде с расстояния нескольких футов спектр не будет казаться прямоугольным, его верхний и нижний края больше не кажутся параллельными, а расходятся веерообразно в сторону синего и фиолетового, как показано на [рис. 13](#). Это потому, что фиолетовый и часть синего лучей, исходящих от объекта, находящегося на небольшом расстоянии, никакими усилиями не могут быть сфокусированы на сетчатке. Они слишком сильно преломляются, а механизм, с помощью которого настраивается зрение, неспособен уменьшить выпуклость линз в достаточной степени, чтобы они могли проецировать четкое изображение. Каждая точка расширяется в светящийся круг, который тем больше, чем сильнее преломляются лучи, и именно расширение этих рассеивающих кругов за пределы надлежащих границ изображения создает впечатление увеличенной ширины.

Устранить эффект чрезмерной выпуклости несложно с помощью вогнутой линзы. Если человек с нормальными глазами, которому фиолетовый конец спектра при взгляде на расстоянии кажется размытым и расширенным, посмотрит на него через подходящие очки, приспособленные для близорукости, он сразу увидит его четко очерченным и надлежащей ширины.

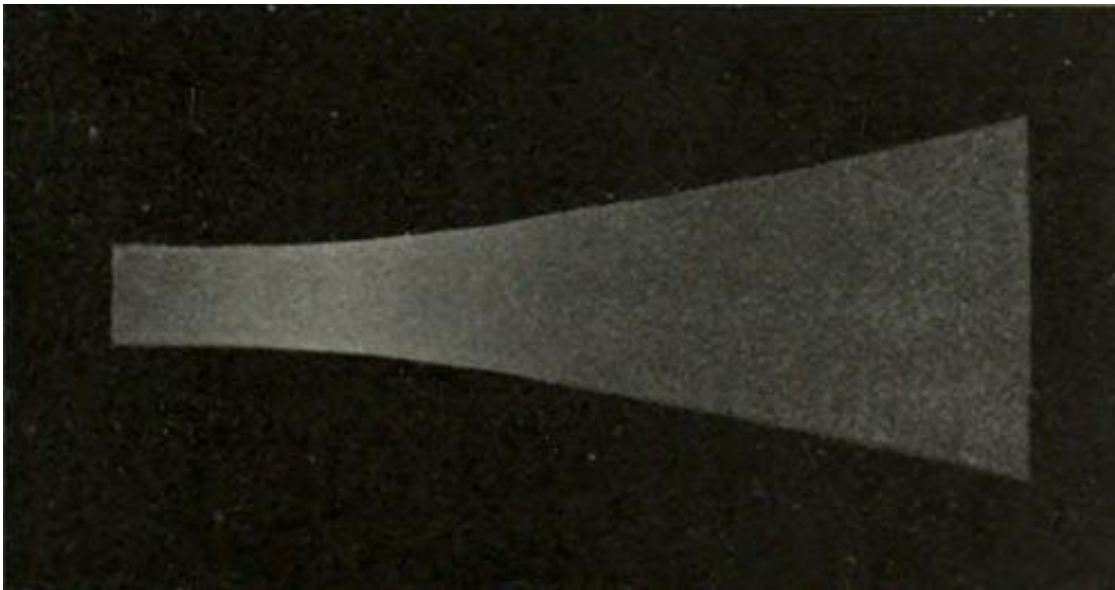


Рис. 13. Узкий спектр, видимый издалека.

Пусть теперь на экран будет отброшен прямоугольный участок белого света, имеющий примерно те же размеры, что и прямоугольный спектр. Свет, отраженный от пятна, будет содержать, как и прежде, все различные спектральные цвета, но они будут смешиваться или накладываться друг на друга, а не располагаться бок о бок. Пластырь будет излучать, среди прочего, желтые и зеленые лучи сап, которые глаз легко фокусирует; он также будет излучать фиолетовые лучи, которые, как мы показали, не могут быть сфокусированы глазом без посторонней помощи. Из-за существования кругов рассеивания на сетчатке обязательно

должно формироваться фиолетовое изображение большего размера, чем приблизительно наложенные изображения, из-за лучей более ярких цветов. Таким образом, при взгляде издалека можно было бы ожидать, что белое пятно будет иметь фиолетовую кайму. И все же можно с уверенностью утверждать, что наблюдатель не осознает наличия какой-либо такой границы, поскольку, хотя она действительно существует, она обладает таким сравнительно слабым свечением, что теряется в ярком свете, создаваемом более яркими лучами.

Однако можно отсечь эти более яркие лучи, установив между проекционным фонарем и экраном комбинацию стекол, которая, как было установлено в результате испытаний со спектроскопом, пропускает только темно-синий и фиолетовый свет. Тогда прямоугольник будет сине-фиолетового цвета, и при ближайшем рассмотрении он все еще будет довольно четким и четко очерченным, но при взгляде с небольшого расстояния он будет казаться размытым и преувеличенного размера.

Другой и, возможно, даже лучший способ продемонстрировать этот последний эффект - поместить источник света (который должен быть мощным, например, дуговую лампу или прожектор) внутри коробки с окошком из матового стекла с одной стороны. Когда окно закрыто цветными стеклами, его очертания невозможно четко различить, если наблюдатель не находится рядом, но если он воспользуется подходящими вогнутыми очками, он сможет видеть его довольно отчетливо даже со значительного расстояния.

Хорошо известно, что представления о расстоянии ассоциируются с определенными цветами. Комната производит впечатление больше, когда она оклеена обоями или выкрашена в сине-фиолетовый цвет, чем когда она окрашена в красный. В первом случае стены как бы удаляются от зрителя, во втором - приближаются к нему. Точно так же красное пятно на фиолетовом фоне кажется отчетливо приподнятым над поверхностью, в то время как фиолетовое пятно на красном фоне кажется вдавленным. Эти явления полностью объясняются несовершенным ахроматизмом глаза. Когда мы смотрим на красный объект, мы должны отрегулировать хрусталик с помощью цилиарной мышцы точно так же, как и при взгляде на близкий объект; в обоих случаях необходимо увеличить выпуклость хрусталика и, таким образом, уменьшить его фокусное расстояние, чтобы получить четкое изображение на сетчатке. И снова, когда мы хотим отчетливо увидеть синий или фиолетовый предмет, цилиарная мышца должна быть расслаблена, а выпуклость хрусталика, насколько это возможно, уменьшена, точно так же, как если бы взгляд был направлен к горизонту. Мы привыкли оценивать расстояние до предметов в основном по мускульному усилию, необходимому для фокусировки их изображения, и поэтому случается, что красный цвет ассоциируется в нашем сознании с близостью, а фиолетовый - с удаленностью.

Эти психологические эффекты прекрасно заметны даже при использовании нечистых цветов, встречающихся в обычной жизни, но они, естественно, более очевидны, когда наблюдаемые цвета чистые, как цвета спектра.

Прекрасным примером является пара коротких ярких спектров, формирующихся на экране при использовании двойной щели в форме буквы V. Великолепно окрашенная буква V, кажется, выделяется сильным рельефом, как пара наклонных досок, причем ближние края красные, а дальние фиолетовые. (См. [Рис. 14.](#))

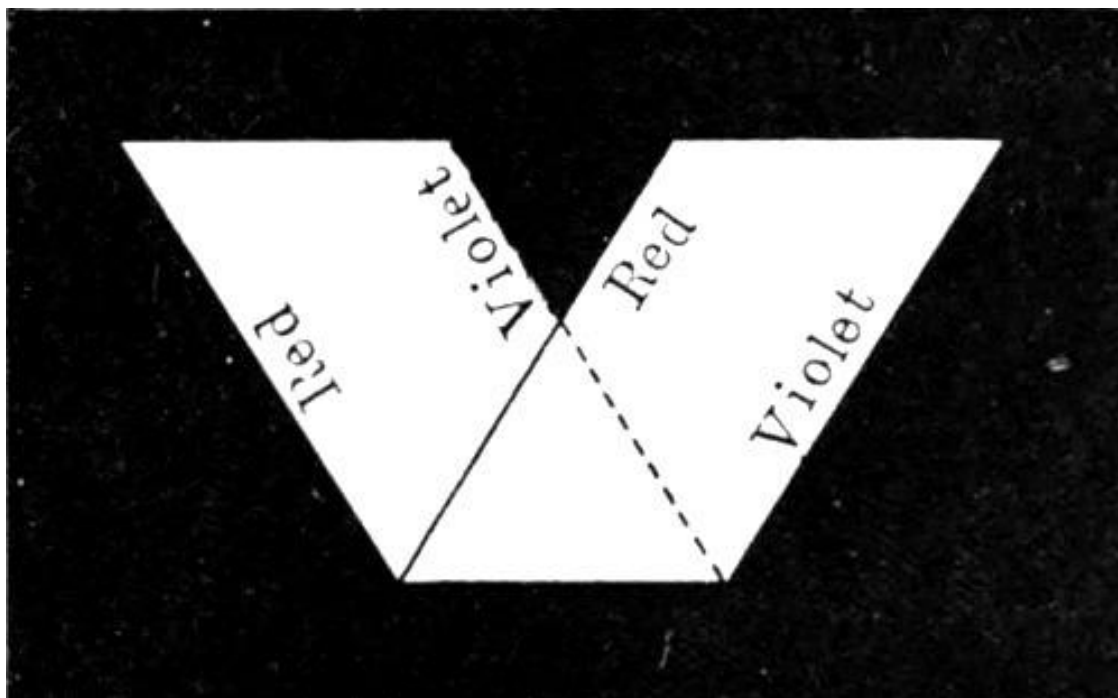


Рис. 14. Спектр, сформированный с помощью V—образной щели.

Многими другими способами и практически без аппаратуры любой человек может легко убедить себя в том, что различные составляющие белого света неодинаково преломляются хрусталиками глаза. Посмотрите, например, на нить накаливания электрической лампы через кусок[7] обычного темно-синего кобальтового стекла, которое обладает свойством препятствовать цветным лучам, соответствующим середине спектра, при пропускании красного и синего. При взгляде с расстояния всего в несколько дюймов нить накала кажется бледно-голубой с ярко-красной каймой, синие лучи идеально сфокусированы, в то время как красные образуют рассеивающие круги. Отойдите примерно на шесть-восемь футов и посмотрите снова; теперь цвета поменяются местами, нить накала будет казаться красной, а граница - сине-фиолетовой. С еще большего расстояния — примерно в пятнадцати-двадцати футах — вся колба будет казаться заполненной сине-фиолетовым свечением из-за больших рассеивающих кругов, в то время как красное изображение нити накала может быть еще более четким, чем раньше. Несомненно, отчасти из-за отсутствия ахроматизма глаза дальние дуговые огни всегда кажутся желтоватыми, даже когда воздух совершенно прозрачный; значительная доля их синих и фиолетовых компонентов неизбежно должна быть потеряна из-за интенсивного рассеивания.[8]

Опять же, посмотрите на залитый солнцем пейзаж или напечатанный на стене плакат через сочетание цветных стекол, которые будут пропускать только фиолетовую часть спектра. На какое-то время вы обнаружите, что ужасно близоруки, все будет казаться размытым и нечетким. Но если вы прибегнете к обычному средству коррекции близорукости и наденете очки с вогнутыми стеклами, ваше нормальное зрение восстановится; деревья и дома будут видны настолько четко, насколько позволит слабый свет, пропускаемый цветными стеклами, и буквы плаката станут легко разборчивыми.

Теперь, конечно, использование цветных стекол на самом деле не приводит к появлению этих размытых изображений; это просто позволяет обнаружить их существование. В обычных условиях они всегда сопровождают более четкие изображения, создаваемые более яркими лучами, и их присутствие не может не оказывать пагубного влияния на общее определение. Такие размытия должны, по крайней мере, затуманивать более темные участки сфокусированного изображения, и хотя мы не осознаем отчетливо их существования, несомненно, что если бы они были устранены, острота нашего зрения улучшилась бы.

Круги рассеивания, создаваемые красными лучами, когда глаз привыкает (как это обычно бывает) к желтому и зеленому, менее заметны, чем круги рассеивания, создаваемые наиболее преломляющими лучами. И все же я считаю невозможным сфокусировать красный объект, такой как нить накаливания электрической лампы, защищенную правильно подобранным темно-красным стеклом, когда он находится на обычном расстоянии отчетливого зрения — примерно в девяти или десяти дюймах от глаза — без помощи выпуклой линзы. В этом случае человек не слишком близорук, но слишком дальнорук, чтобы отчетливо видеть объект; другими словами, хрусталики глаза не могут преломлять красные лучи в достаточной степени, чтобы создавать четко очерченные изображения на сетчатке, и рефракцию приходится увеличивать искусственными средствами.

Хотя, как я уже говорил, трудно или даже невозможно обнаружить какой-либо след цветной границы при взгляде на яркий объект, к которому приспособлен глаз, довольно легко выделить такие границы, если объект находится на расстоянии, слишком большом или чересчур малом для четкого видения. Очень замечательное устройство для этой цели принадлежит фон Безольду. Это можно проиллюстрировать использованием неахроматической стеклянной линзы, такой как обычная лупа, для проецирования прозрачности или предметного стекла, на котором нанесен рисунок, похожий на мишень, состоящий из ряда круглых черных полос, окружающих круглое черное пятно.^[9] (См. [рис. 15.](#))



Рис. 15. Диаграмма Безольда.

Предположим, что стеклянная линза представляет собой хрусталик гигантского глаза (в определенном состоянии аккомодации), а экран - сетчатку. Воображаемый глаз смотрит на рисунок на предметном стекле фонаря, и когда он находится на расстоянии наиболее отчетливого обзора, на экране сетчатки формируется довольно четкое изображение цели.

Теперь постепенно перемещайте предметное стекло фонаря к объективу (или линзу к предметному стеклу), таким образом приближая его слишком близко для получения четкого обзора. Это приводит к увеличению кругов рассеяния, образованных менее преломляемыми лучами, соответствующими красному концу спектра, и в то же время к уменьшению кругов рассеяния, образованных более преломляемыми лучами, соответствующими фиолетовому концу. Первый результат заключается в том, что круглые темные полосы становятся красновато-коричневыми, а промежутки между ними синеватыми. По мере того как расстояние между линзой и предметным стеклом еще больше уменьшается, оттенки становятся более разнообразными и яркими, пока, наконец, не появляется красивая серия цветных колец вокруг ярко-красного центрального пятна.

Эти эффекты не возникают, когда используется ахроматическая линза; с такой линзой все круги рассеивания увеличиваются или уменьшаются вместе, и движение туда-сюда предметного стекла фонаря (или линзы) просто влияет на четкость изображения, не вызывая какой-либо заметной дисперсии цвета.

Теперь следует отметить, что хроматические явления, проявляющиеся при использовании неисправленной стеклянной линзы, довольно хорошо проявляются хрусталиками глаза. Необходимо только поднести предметный фонарь к яркому фону и постепенно подносить его так близко к глазу, чтобы рисунок не был виден отчетливо. Затем черные полосы станут коричневыми, белые - синими, а центральное пятно - ярко-красным. Напечатанная диаграмма (рис. 15) сама покажет цвета, если ее держать на расстоянии четырех-пяти дюймов от одного глаза при хорошем освещении.

Можно сослаться еще на один эксперимент. Посмотрите одним глазом на хорошо освещенную страницу с печатью и, держа полоску коричневой бумаги совсем рядом с глазом, закройте примерно половину зрачка. Черные буквы теперь будут выглядеть окаймленными цветом — синим по направлению к видимому краю коричневой бумаги и оранжевым с противоположной стороны. Если буквы нанесены белым цветом на черном фоне, как это иногда бывает в случае рекламы, цвета будут поменяны местами. Причину появления цветных границ будет легко понять при рассмотрении диаграммы рис. 12; но следует помнить, что изображения на сетчатке перевернуты.

Таким образом, неоспоримо доказано, что хрусталики глаза не образуют ахроматической комбинации.

Еще одна особенность, с которой сталкивается глаз и которая не встречается в оптических приборах, - это то, что известно как *астигматизм*. Поверхность роговицы, которая вместе с водянистой влагой образует наружный хрусталик, часто не является идеально сферической; обычно она имеет форму чего-то вроде чаши ложки, причем кривизна по вертикали больше,

чем по горизонтали. Лучи, исходящие из светящейся точки, после преломления такой линзой пересекаются не в одном фокусе, а вдоль двух коротких прямых линий, горизонтальной и вертикальной, которые находятся на разных расстояниях от линзы; таким образом, отчетливое изображение маленькой точки нигде не может быть получено.

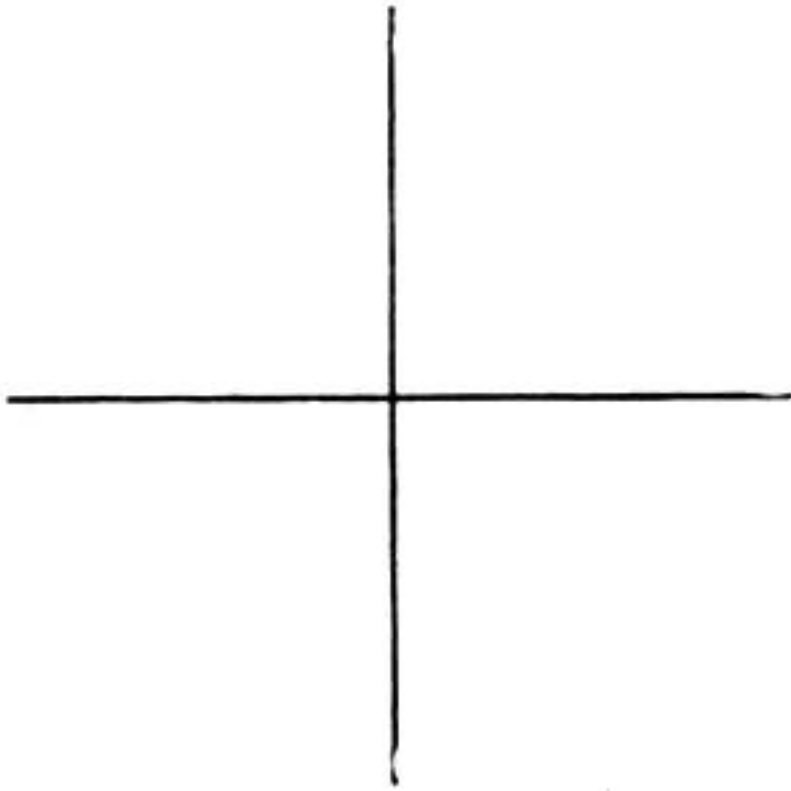


Рис. 16. Эффект астигматизма.

Из этого уродства вытекает очень любопытный результат. Если две прямые линии провести под прямым углом друг к другу, как на [рис. 16](#), то невозможно увидеть их обе достаточно четко одновременно. Когда бумагу держат на определенном небольшом расстоянии от глаз — примерно в восьми или девяти дюймах, — горизонтальная линия кажется черной и четко очерченной, в то время как другая довольно серая и нечеткая; на большем расстоянии вертикальная линия кажется более черной. Эффект очень хорошо показан на схеме, [рис. 17](#). Большинству людей линии, занимающие среднюю часть, будут казаться либо намного чернее, либо намного светлее, чем линии на двух концах, хотя на самом деле они совершенно одинаковы. Когда эта форма астигматизма чрезмерна, ее можно исправить с помощью очков с цилиндрическими линзами.

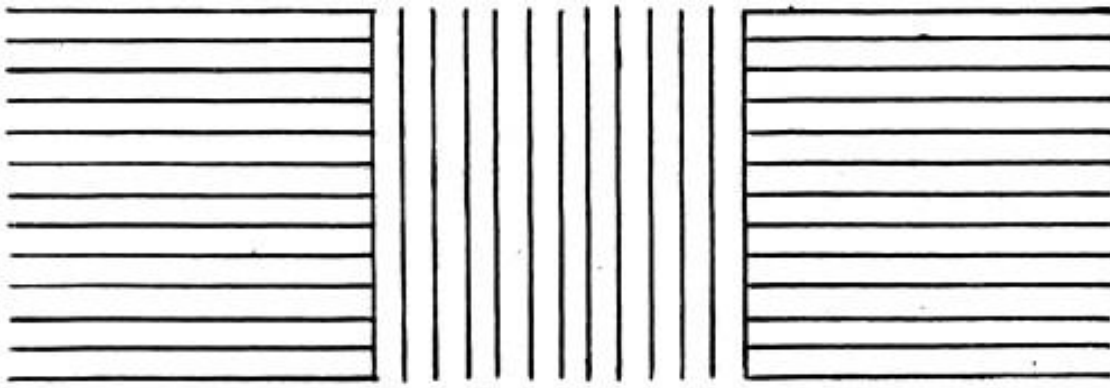


Рис. 17. Эффект астигматизма.

Но существует другой вид астигматизма — его называют неправильным астигматизмом, — жертвой которого в той или иной степени является каждый человек и от которого нельзя избавиться никакими искусственными средствами. К счастью, это не часто вызывает особых практических неудобств.

Неправильный астигматизм обычно проявляется следующим образом. Кончиком тонкой иглы проткните очень маленькое отверстие в листе фольги. Поднесите фольгу к свету и посмотрите на отверстие одним глазом, другой должен быть закрыт. Даже на расстоянии наиболее четкого обзора — десяти дюймов или около того, — отверстие, вероятно, будет выглядеть неровным, как если бы оно не было идеально круглым. Но если вы поднесете фольгу на дюйм или два ближе к глазу, отверстие не будет казаться даже приблизительно круглым; оно примет форму маленькой звезды с пятью или более отчетливыми лучами. Конфигурация звезды обычно не одинакова для правого глаза и для левого; лучи могут отличаться по количеству и относительной величине и могут быть наклонены под разными углами к вертикали. На рис. 18 показаны звезды такими, какими они предстают моим глазам при довольно ярком освещении.



Рис. 18. Звездообразные изображения светящейся точки.

Если в фольге проделать несколько отверстий, из каждого, конечно, получится отдельная звезда, и все звезды, видимые одним и тем же глазом, будут казаться изображенными по одной модели, хотя некоторые из них могут быть больше или ярче других.

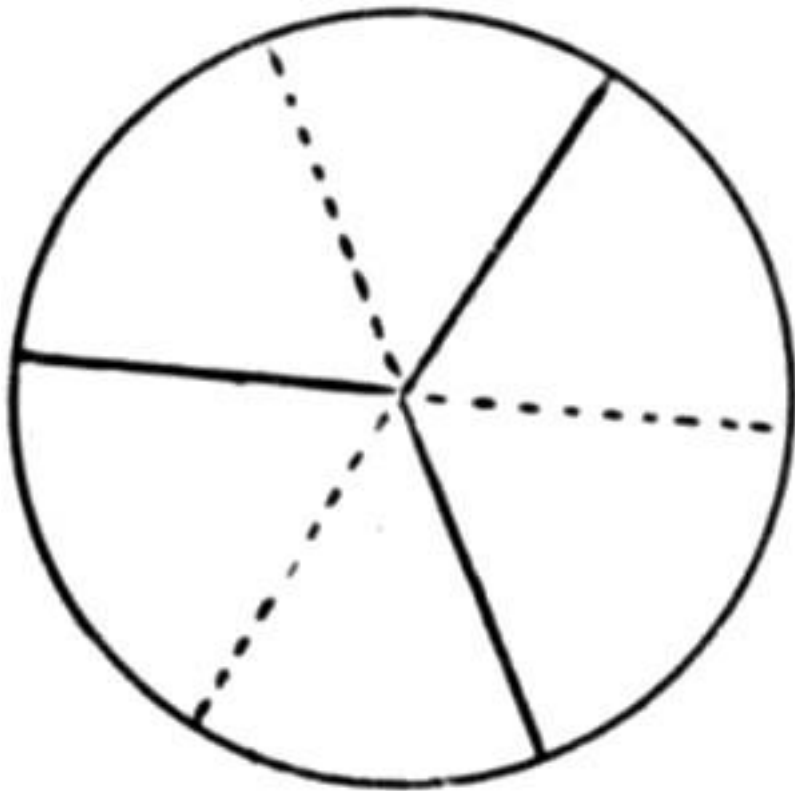


Рис. 19. Швы хрусталика.

Не может быть никаких сомнений в том, что звездообразная форма, наблюдаемая в этих экспериментах, а также форма самих небесных звезд (которые при идеальном зрении были бы видны просто как светящиеся точки), является следствием особого строения хрусталика глаза. Он состоит не из одной однородной массы, подобной стеклянной линзе, а из ряда отдельных частей, соединенных радиально, как показаносхематично на [рис. 19](#). В глазу новорожденного ребенка таких частей три, и радиальные соединения на одной стороне линзы не противоположны радиальным соединениям на другой, а являются промежуточными. На рисунке места соединения в передней части линзы представлены непрерывными линиями, а в задней - точками. Количество швов, обнаруживаемых на хрусталике взрослого человека, обычно превышает шесть.

Но хотя несомненно, что эти радиальные швы каким-то образом тесно связаны со светящимися лучами, которые, по-видимому, исходят из яркой точки, следует признать, что до сих пор не было дано адекватного объяснения точного способа, которым вызывается это явление. Офтальмологи, по-видимому, довольствовались расплывчатыми утверждениями о неправильной рефракции, но какой именно вид неправильности в достаточной степени объясняет все факты наблюдения, никогда, насколько мне известно, не было точно определено.

Проблема едва ли может быть очень трудноразрешимой и, без сомнения, легко поддалась бы совместным усилиям физика и физиолога.

Феномен неправильного астигматизма, проявляемый нормальным глазом, чрезвычайно любопытен, и, возможно, мне будет позволено кратко сослаться на один или два эксперимента, которые я сам провел по этому вопросу.[\[10\]](#)

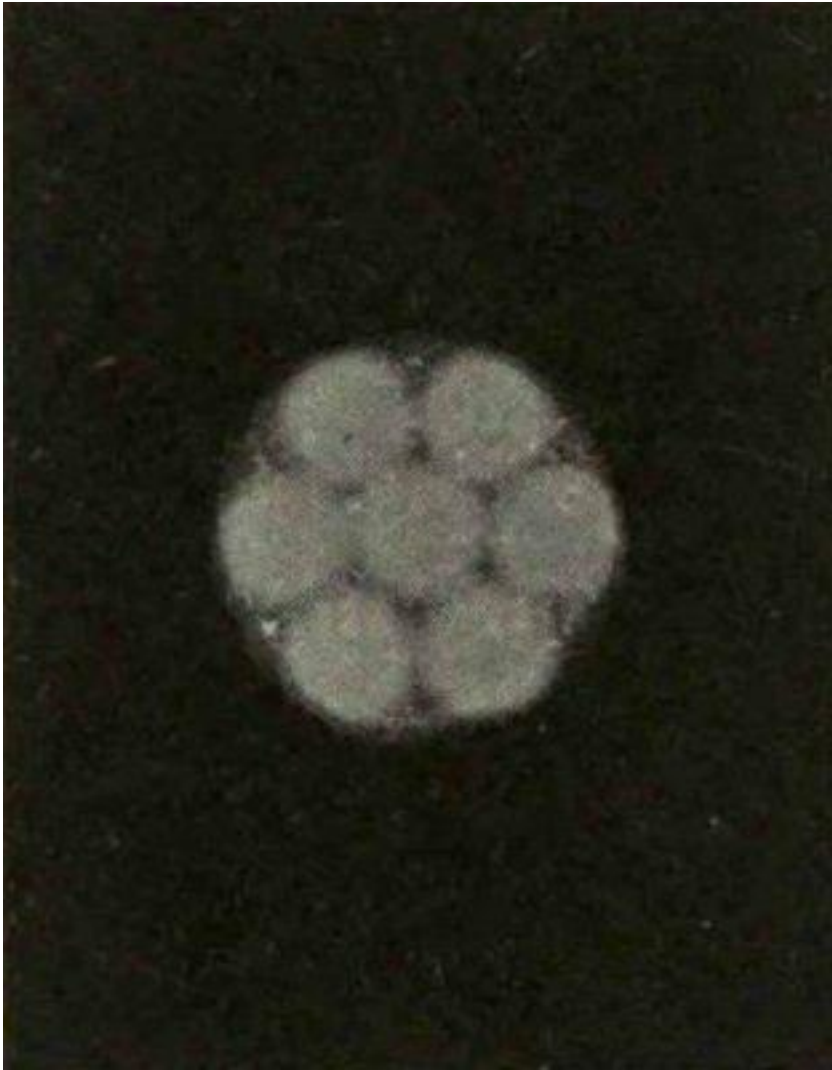


Рис. 20. Множественные изображения светящейся точки.

Свет от закрытой электрической лампы мощностью в двадцать пять свечей пропускался через круглое отверстие диаметром около $\frac{1}{12}$ дюймов (2 мм), перфорированное в латунной пластине; за отверстием помещался лист матового стекла и еще один лист рубиново-красного стекла. Когда на образовавшийся таким образом маленький диск монохроматического света смотрели через вогнутую линзу с фокусным расстоянием одиннадцать дюймов с подходящего расстояния — в моем случае почти два фута, — он выглядел как семь ярких круглых пятен на менее светящемся фоне. Внешний вид представлен в несколько идеализированной форме на [рис. 20](#);

но пятна были не такими отчетливыми и не так правильно расположенными, как показано на рисунке, и их конфигурация не была точно такой же для правого глаза, как для левого.

При постепенном увеличении расстояния каждое окружное пятно сначала вытянулось в радиальном направлении, а затем разделилось на два круглых; в то же время на светящемся фоне появились новые пятна, при этом приблизительная симметрия фигуры все еще сохранялась. [Рис. 21](#) представляет определенную стадию этого процесса расширения. Наблюдатель, повторивший эксперимент, с радостью сравнил этот внешний вид с видом крупной незрелой ежевики.

По мере того как расстояние еще больше увеличивалось, пятна продолжали множиться, в конечном счете став очень многочисленными; однако вскоре их расположение стало гораздо менее регулярным, а очертания большинства из них менее отчетливыми. Примерно в двадцати футах было видно светящееся пятно, примерно круглой формы, покрытое неправильными крапинками; на него накладывались цепочки ярких, частично перекрывающихся пятен, соответствующих, по-видимому, швам хрусталика.

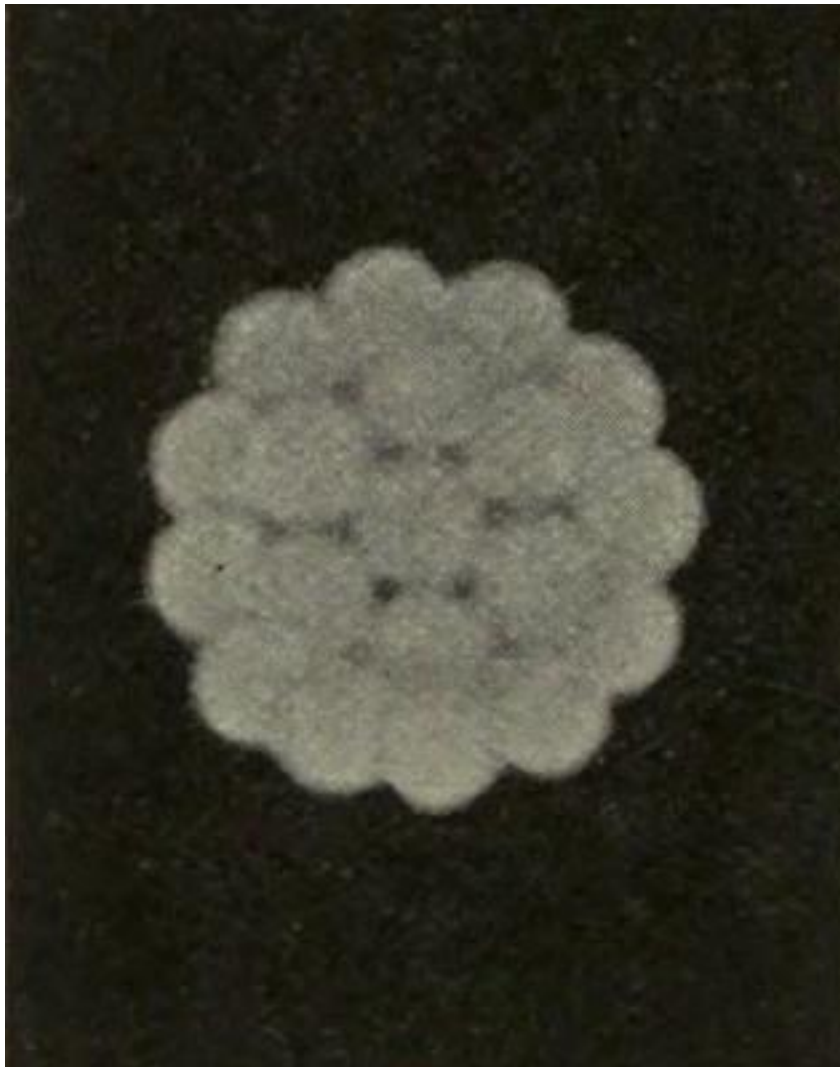


Рис. 21. Увеличенное количество изображений.

Когда на отверстие смотрели с умеренного расстояния через узкую щель (шириной около $\frac{1}{30}$ дюймов), расположенную между глазом и хрусталиком, был виден только один ряд круглых пятен, расположенных извилисто, как показано на [рис. 22](#). Небольшое движение щели в направлении, перпендикулярном ее длине, вызывало волнообразное движение кругов, наводящее, как указал упомянутый выше превосходный наблюдатель, на мысль о ползании гусеницы.

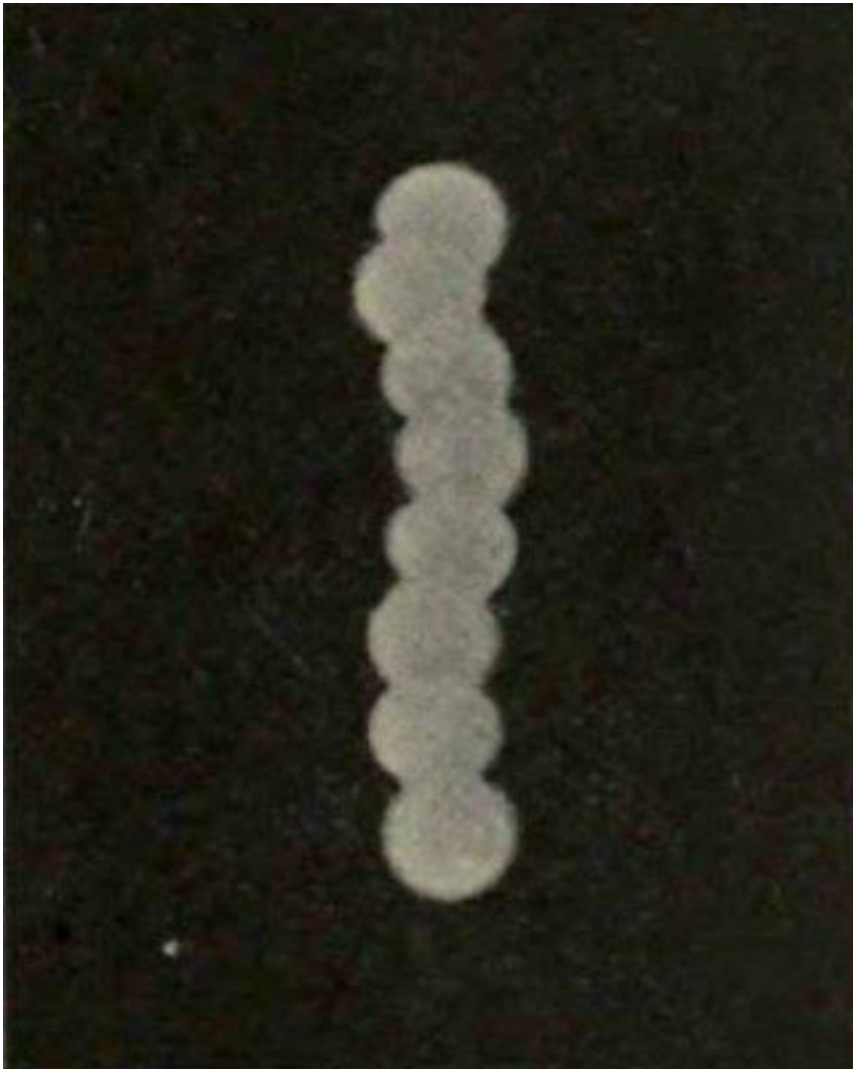


Рис. 22. Множественные изображения, видимые через щель.

При достаточном увеличении расстояния между источником света и глазом в ряду могло появиться до двадцати четырех или двадцати пяти ярких пятен, но их нельзя было сосчитать со сколь-нибудь большой уверенностью. На еще большем расстоянии или с помощью объектива с

меньшей фокусировкой (выпуклого или вогнутого) они становились менее отчетливыми и, наконец, казалось, что они превратились во множество маленьких размытых изображений — вероятно, в несколько сотен, — которые были отделены друг от друга размытыми темными линиями.



Рис. 23. Изображения нити накала электрической лампы.

Я подумал, что наблюдения могли бы быть более легкими, если бы источник света имел более отчетливую форму, чем простой круг. Поэтому были проведены некоторые эксперименты с полукруглыми и треугольными отверстиями, и они были в некоторых отношениях предпочтительнее; но гораздо лучшие результаты были впоследствии получены при использовании в качестве источника света нити накала электрической лампы в форме подковы, экранированной цветным стеклом. Когда на такую лампу смотрели через линзу, вогнутую или выпуклую, с фокусом около шести дюймов, с расстояния нескольких футов, на сетчатке образовывалось примерно овальное пятно яркости, вместо того чтобы быть простым нечетким

пятном, которое возникло бы, если бы прозрачная среда глаза состояла из однородных веществ, таких как стекло или вода, казалось, что оно состоит из множества отдельных изображений нити накала, некоторые из которых ярче других, как показано на схеме [рис. 23](#).

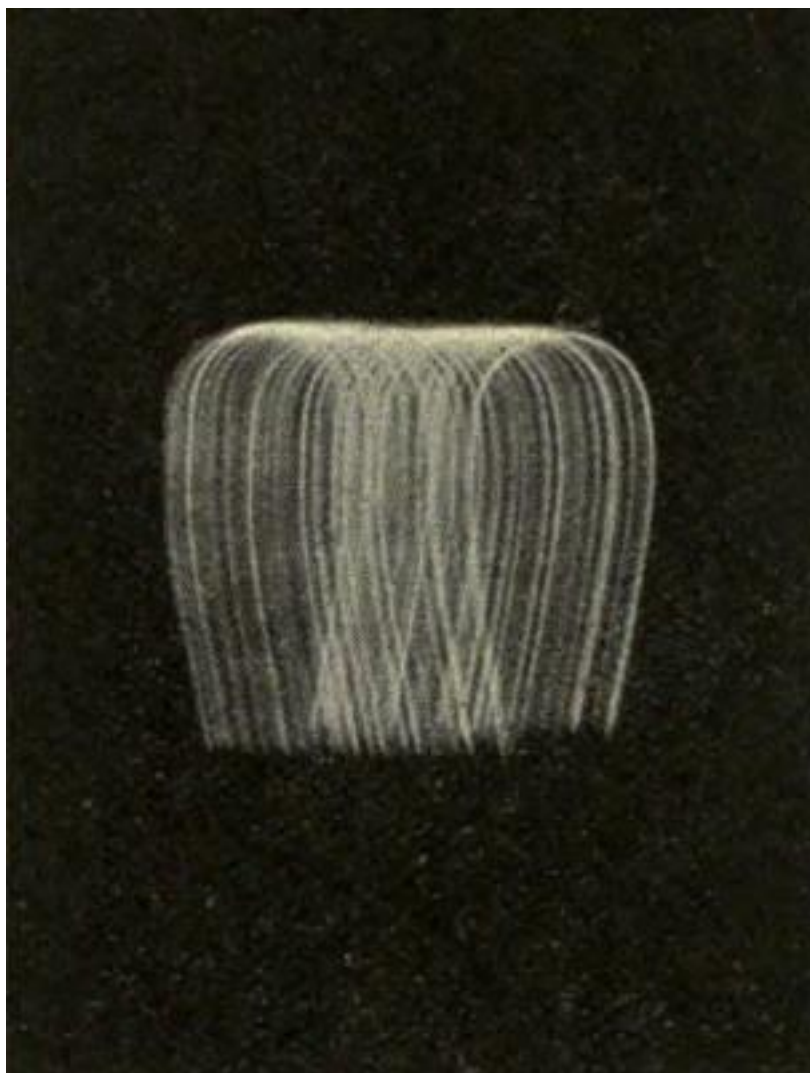


Рис. 24А.—Изображения с горизонтальной щелью.

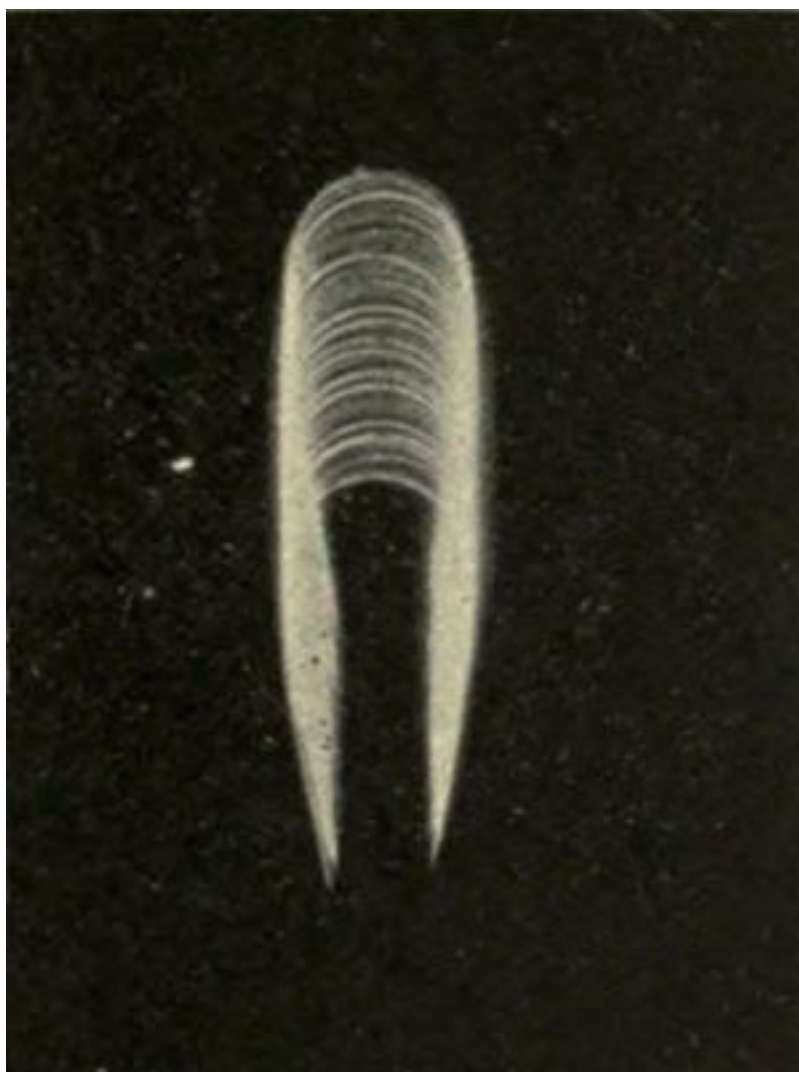


Рис. 24Б.—Изображения с вертикальной щелью.

Если между глазом и хрусталиком помещалась щель спектроסקопа и соответствующим образом регулировалась ее ширина, наблюдался только один ряд нитей, причем видимость щели в горизонтальном, вертикальном и промежуточном положениях была такой, как показано нарис. 24, А, В, С. Как и прежде, оказалось возможным путем постепенного отключения лампы довести количество изображений примерно до двадцати пяти, но внимательное изучение показало, что большинство из них на самом деле состояло из скоплений, каждое из которых состояло, возможно, из пятнадцати или двадцати спутанных изображений различных цветов. нить накала. Более сильная линза еще больше разделила составляющие скоплений, продемонстрировав общее количество нечетко различных изображений, которое, по оценкам, составило почти пятьсот. Предполагая, что диаметр зрачка глаза равен одной пятой дюйма, эти наблюдения, по-видимому, указывают в качестве причины явления на некоторую довольно правильную анатомическую структуру, расположенную в хрусталике или вблизи него и состоящую из элементов размером около $\frac{1}{2000}$ дюймов в длину или ширину. Находится ли структура, порождающая эти множественные изображения, в волокнах самого хрусталика или в

мембранах, которые его покрывают, - это вопрос, по которому я не рискну высказать свое мнение.



Рис. 24С.—Изображения с косым разрезом.

Действительно замечательно, что орган, пораженный особенностями, о которых говорилось выше, является всего лишь образцом, должен давать такие четко очерченные изображения, как при адаптации к рассматриваемым объектам.

ГЛАВА IV.

НЕСКОЛЬКО ОПТИЧЕСКИХ ИЛЛЮЗИЙ.

Оптические иллюзии обычно возникают в результате ошибочной интерпретации разумом явлений, представляемых ему через посредство органов зрения. Они бывают многих различных видов, но большой класс, который на первый взгляд может показаться, что у них мало или вообще ничего общего, возникает, я полагаю, по единственной причине, а именно из неспособности разума сформировать определенную шкалу или стандарт измерения и придерживаться их.

При определении количеств и качеств физическими методами используемые нами эталоны неизменны. Мы можем, например, измерить длину с помощью правила, интервал времени с помощью часов, массу или гирю путем сравнения со стандартными кусками металла, и во всех таких случаях — при условии, что наши инструменты хороши и используются умело — мы полностью уверены в постоянстве и однородности наших результатов.

Но две длины, которые при проверке с помощью одной и той же линейки для ног оказываются в точности равными, не обязательно равны в оценке, сформированной из них разумом. Посмотрите, например, на две линии на [рис. 25](#). Согласно правилу стопы, каждая из них имеет длину всего в один дюйм, но разум без колебаний утверждает, что стопа, стоящая вертикально, значительно длиннее другой; стандарт, который он применяет, не является, в отличие от физического, идентичным в двух случаях. Можно было бы привести множество других примеров, иллюстрирующих общую неопределенность ментальных оценок.

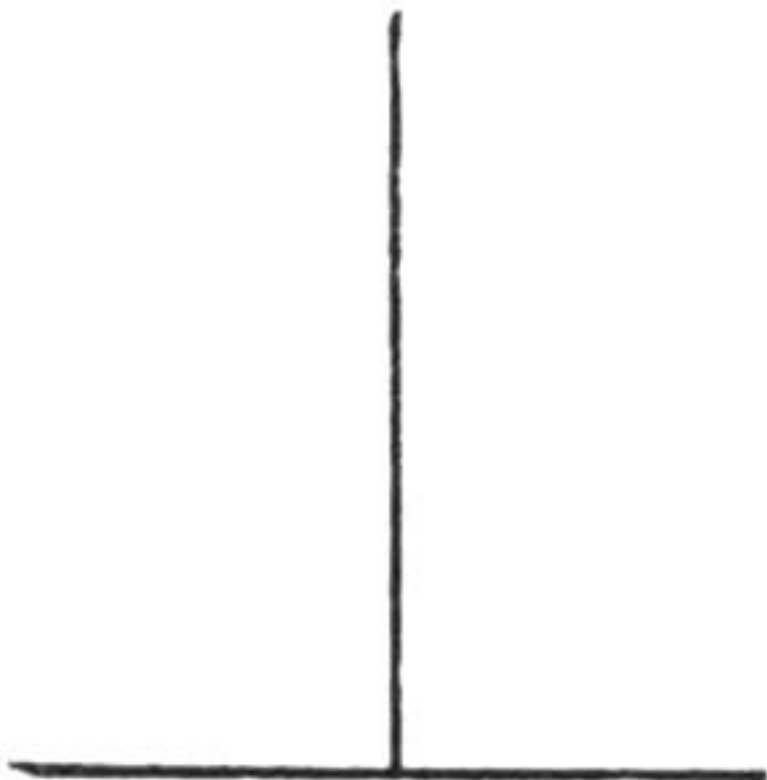


Рис. 25. Иллюзия длины.

Изменение неопределенного ментального стандарта, который мы бессознательно используем, по-видимому, регулируется законом очень широкого, если не универсального применения. Хотя этот закон сам по себе прост и достаточно понятен, его нелегко сформулировать в терминах адекватной общности. Лучшим результатом моих усилий является следующее громоздкое утверждение: —Ментальный стандарт, который применяется при оценке качества или состояния, имеет тенденцию ассимилироваться в отношении рассматриваемого качества или состояния с объектом или другой сущностью, при сравнении с которыми то же самое (качество или условие) является атрибутом.

Говоря более простым, но менее точным языком, существует склонность сводить к минимуму крайности любого рода; недооценивать любое отклонение от среднего положения вещей и, следовательно, изменять наше представление о среднем или стандартном состоянии таким образом, чтобы отклонение от него, которое предстает нашему вниманию в любом конкретном случае, могло показаться скорее небольшим, чем большим.

Таким образом, когда мы смотрим на вещь, которая производит на нас впечатление длинной или высокого роста, ментальный стандарт длины сразу же повышается. Это похоже на то, как если бы при физическом измерении наше правило стопы автоматически добавляло несколько дюймов к ее длине, хотя все еще предполагалось, что оно представляет стандартную ступню: очевидно, что все, что измеряется с помощью расширенного правила, будет содержать меньшее количество футов и, следовательно, будет короче, чем если бы правило не претерпело изменений.

Люди, впервые посещающие Швейцарию, нередко выражают разочарование по поводу кажущейся небольшой высоты гор. Гора высотой 10 000 футов, конечно, не кажется в двадцать раз более высокой, чем холм высотой 500 футов. Дело в том, что в этих двух случаях применяется разная шкала измерения; хотя наблюдатель и не знает об этом, гора оценивается в большей единице измерения, чем холм.



Рис. 26. Иллюзия длины.

Если мы мысленно сравним два соседних объекта неодинаковой длины, таких как две прямые линии на [рис. 26](#), существует тенденция рассматривать более короткий объект как более длинный, чем это могло бы показаться, если рассматривать его отдельно, а более длинный - как более короткий. Нижняя из двух линий на рисунке всего в два раза длиннее другой, но это так не выглядит; считается, что каждая из них отличается от воображаемой линии промежуточной длины меньше, чем на самом деле.

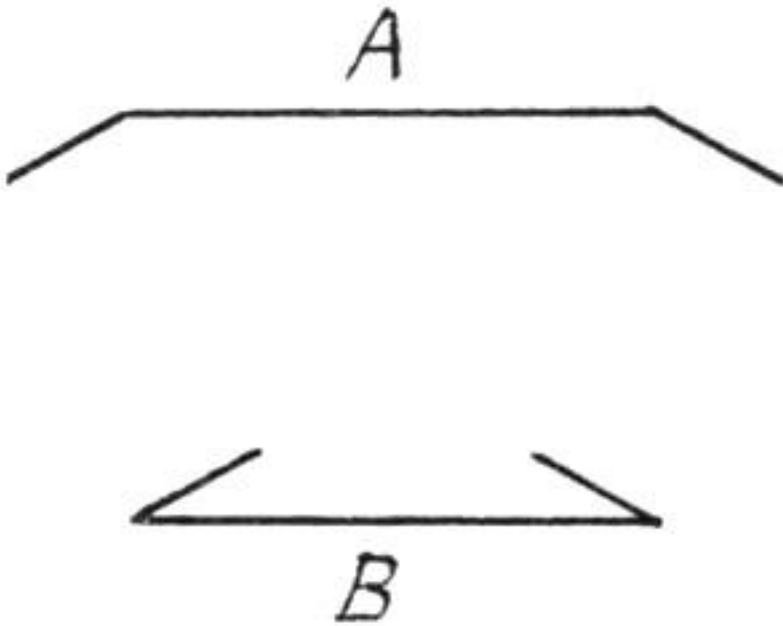


Рис. 27. Иллюзия длины.

Две расходящиеся наклонные линии, прикрепленные к концам прямой линии, как на А, [рис. 27](#), наводят на мысль о длине, большей, чем длина самой прямой линии; последняя, рассматриваемая как сравнительно небольшая, поэтому оценивается в единицах меньшего размера, чем использовалась бы, если бы крепления отсутствовали, и, следовательно, кажется длиннее. Если, с другой стороны, крепления выполнены сходящимися, как в пункте В, предлагаются более короткие длины; длина данной лески рассматривается как превышающая среднее значение; стандарт, применяемый при ее оценке, соответственно увеличивается, и леска выглядит неоправданно короткой. Несмотря на кажущееся обратное, две строки А и В на самом деле имеют одинаковую длину.

При дублировании прикрепленных строк, как показано на [рис. 28](#), их вводящий в заблуждение эффект усиливается. Здесь мы имеем дело с хорошо известной иллюзией, которой было предложено несколько объяснений. Ошибочность, я думаю, в достаточной степени объясняется изменением ментального стандарта в соответствии с законом, на который я обратил внимание.

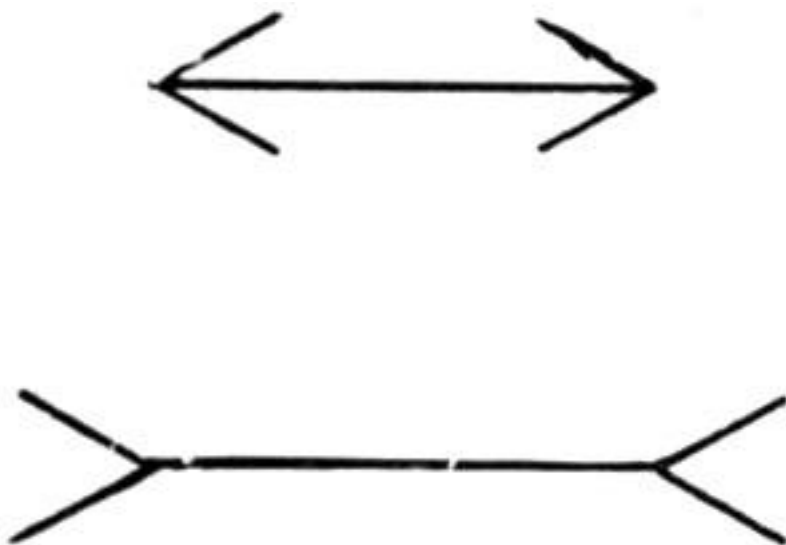


Рис. 28. Иллюзия длины.

Ряд других парадоксальных эффектов можно отнести к действию того же закона. На рис. 29 показан любопытный экземпляр. На каждом конце диаграммы - короткая вертикальная линия; точно посередине - еще одна; между серединой и левым концом вставлено еще несколько линий, пространство справа от середины оставлено пустым. Любой, случайно взглянувший на диаграмму, был бы склонен предположить, что она не была разделена поровну так называемой средней линией, причем левая часть казалась заметно длиннее другой.



Рис. 29. Иллюзия расстояния.

Нетрудно указать на источник иллюзии. Когда мы смотрим на левую часть, мы обращаем внимание на мелкие подразделения, и ментальная единица становится соответственно маленькой; в то время как при оценке части, которая не подразделяется, применяется более крупная единица.

В качестве еще одного примера я могу сослаться на знакомую ловушку для неосторожных. Попросите человека отметить на стене комнаты высоту над полом, которая, по его мнению, будет соответствовать высоте высокой шляпы джентльмена. Если только его не обманули в прошлом случае, он, несомненно, поставит отметку на несколько дюймов выше, чем нужно. Очевидно, что высота шляпы подсознательно оценивается с точки зрения меньшего стандарта, чем высота комнаты.

Иллюзия, создаваемая горизонтальными и вертикальными линиями на [рис. 25](#) (стр. 132), зависит, хотя и несколько менее напрямую, от аналогичной причины. Мы обычно применяем больший стандарт при оценке горизонтальных расстояний, чем вертикальных, потому что горизонтальные величины, к которым мы привыкли, в целом намного больше вертикальных. Высота домов, башен, шпилей, деревьев или даже гор ничтожна по сравнению с горизонтальной протяженностью земной поверхности и многих вещей на ней, к которым постоянно приковано наше внимание. По этой причине мы привыкли связывать горизонтальность с большей протяженностью, а вертикальность - с меньшей, и, в соответствии с нашим законом, данное расстояние кажется больше при расчете по вертикали, чем при расчете по горизонтали. Отсюда иллюзия на [рис. 25](#).

Но рассматриваемый закон справедлив не только в отношении длин и расстояний; в большинстве, если не во всех случаях, в которых возможна психооптическая оценка, ментальный стандарт нестабилен и имеет тенденцию ассимилироваться в отношении оцениваемого качества или состояния с сущностью, в которой оно проявляется. Это верно, например, при оценке угла наклона; движения в пространстве; интенсивности света или чистоты цвета.

Каждый велосипедист знает, как трудно составить правильное представление о крутизне холма, просто взглянув на него. Мало того, что склон может казаться больше или меньше, чем он есть на самом деле, но при определенных обстоятельствах мертвый уровень иногда выглядит как наклон вверх или вниз, в то время как пологий подъем может даже быть ошибочно принят за спуск, и *наоборот*.

Мы обычно определяем уклон по его наклону к ровной плоскости, параллельной плоскости горизонта, или под прямым углом к направлению силы тяжести. В любом данном месте уровень, с физической точки зрения, определен и неизменяем. Формируя ментальное суждение о склонности, мы используем в качестве эталона воображаемую плоскость, которая должна быть идентична физическому уровню. Но наш ментальный план не абсолютно стабилен; когда мы относим к нему наклон, мы бессознательно придаем ментальному плану небольшой наклон, стремясь сделать его параллельным наклону. Следовательно, наклон простого склона, когда отсутствуют вводящие в заблуждение осложнения, всегда недооценивается.

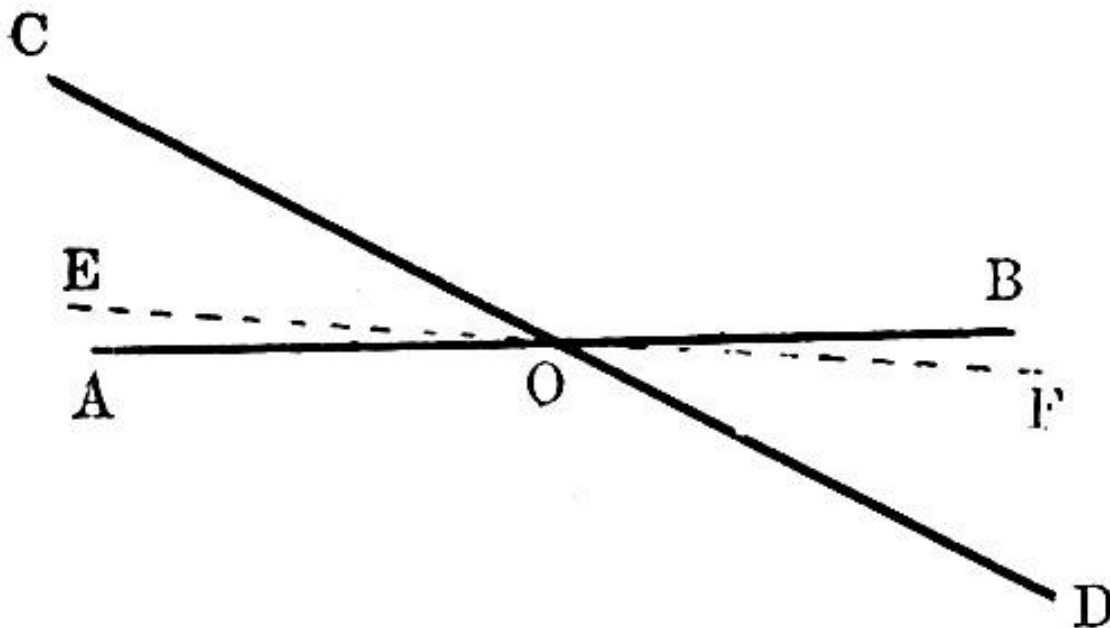


Рис. 30. Иллюзия наклона.

Это можно проиллюстрировать схемой [рис. 30](#). Если АВ представляет собой действительно горизонтальную линию, то наклон наклонной линии С D правильно определяется углом С О А. Но если у нас под рукой нет инструмента для определения уровня, мы безошибочно представим, что он находится в каком-то таком положении, которое указано (в преувеличенной степени) пунктирной линией Еf, в то время как истинный уровень Аb, по-видимому, имеет наклон, противоположный С D.

Этот класс иллюзии замечательно хорошо демонстрируют линии Зеллнера, [рис. 31](#); две толстые линии, которые кажутся расходящимися слева направо, на самом деле строго параллельны.

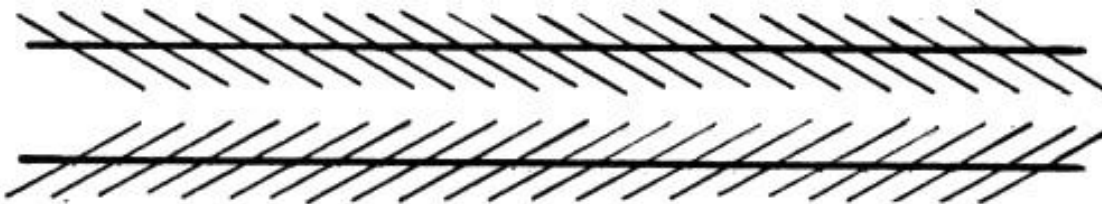


Рис. 31. Линии Зеллнера.

Мне нет необходимости подробно обсуждать различные иллюзии, которым подвергается велосипедист, когда склоны с разным наклоном сменяют друг друга: все они просто вытекают из одного и того же общего принципа.

Говорят, что предмет находится в движении, когда он меняет свое положение относительно земли, которая для всех практических целей может рассматриваться как неподвижная. Таким

образом, состояние движения земли и всего, что жестко связано с ней, составляет физический ноль, или стандарт, к которому относится движение всего земного. Но соответствующий ментальный стандарт, особенно когда его невозможно легко проверить путем сравнения с каким-либо неподвижным объектом, склонен отклоняться от физического; фактически он имеет тенденцию двигаться в том же направлении, что и движущееся тело, за которым ведется наблюдение, и, следовательно, кажущаяся скорость тела несколько меньше, чем должна быть.

Влияние, оказываемое на суждение, иногда даже сохраняется в течение значительного периода времени после того, как возбуждающая причина перестает действовать, например, когда движущееся тело теряется из виду или внезапно останавливается; в таких случаях неподвижные объекты при сравнении с обманчивым ментальным эталоном на несколько секунд кажутся движущимися в противоположном направлении.

Я разработал задвижку для фонаря (рис. 32), с помощью которой это явление можно сделать очень наглядным. В квадратной металлической пластине вырезана вертикальная прорезь, которая заштрихована на рисунке; за пластиной находится непрозрачный диск, который с помощью подходящего механизма можно заставить вращаться вокруг своего центра. В диске вырезано спиральное отверстие той же ширины, что и прорезь, как указано пунктирной линией. Предметное стекло помещается в оптический фонарь, и свет, проходящий через отверстие, образованное там, где щель пересекается спиральным отверстием, создает небольшое яркое пятно на белом экране, подвешенном на подходящем расстоянии от фонаря.

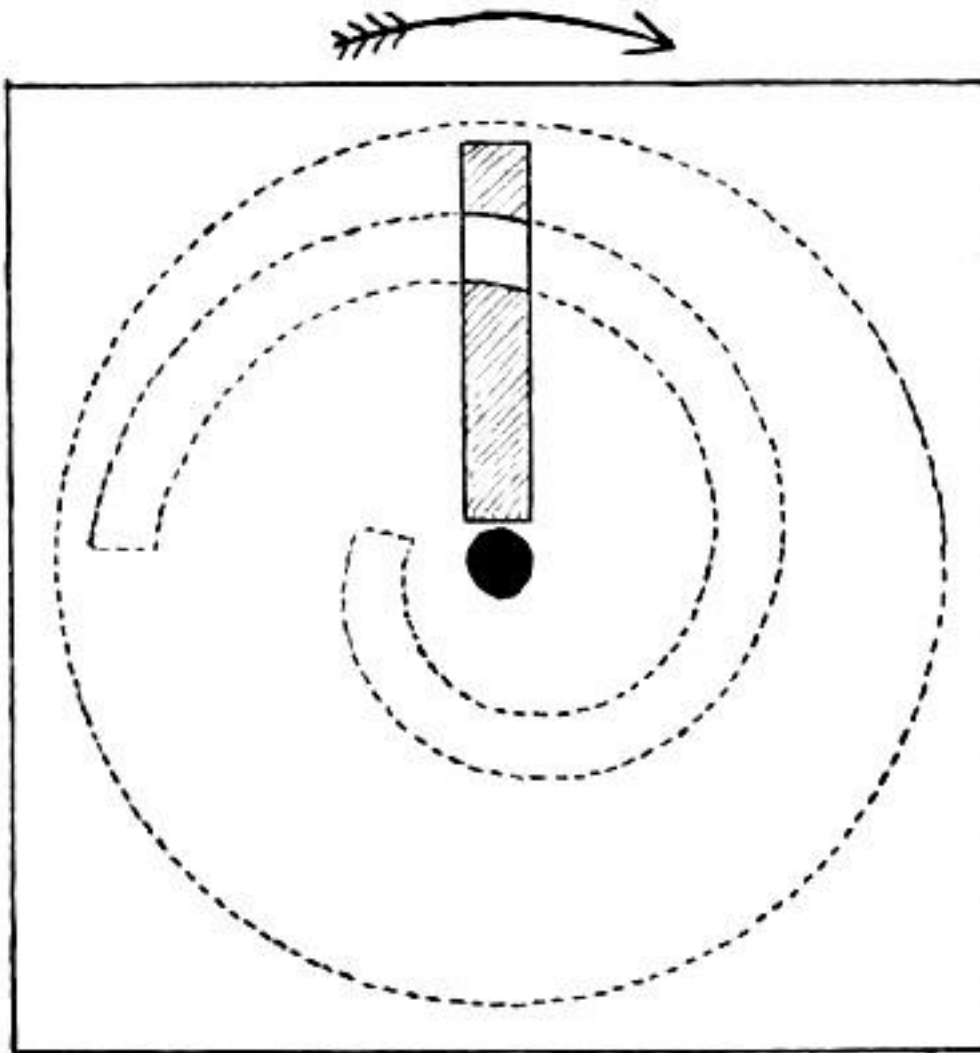


Рис. 32. Слайд для показа иллюзий движения.

Когда диск поворачивается в направлении, указанном стрелкой, яркое пятно движется вверх и в конечном итоге исчезает; но в момент его исчезновения снизу начинается новое пятно, которое также движется в направлении вверх; таким образом, на экране образуется непрерывная последовательность восходящих ярких пятен. После того, как они наблюдались в течение примерно четверти минуты, диск внезапно останавливается, и сразу же демонстрируется устойчивость ошибочного ментального стандарта. Ибо яркое пятно, по-видимому, не находится в состоянии покоя, как это есть на самом деле, а неуклонно ползет вниз, продолжая делать это все медленнее в течение, возможно, целых десяти секунд. Восходящее движение ярких пятен привело наблюдателя к предположению о более медленном восходящем движении в качестве нуля, или стандарта отсутствия движения, и привязка действительно неподвижного пятна к этому физически ложному стандарту создает иллюзию, что пятно опускается.

Этот эксперимент наиболее успешен, когда яркие пятна проецируются на середину большого экрана. Диск должен поворачиваться примерно три раза в секунду, и комната должна быть слабо освещена, но не совсем темной.



Рис. 33. Иллюзии движения.

Очень примечательная иллюзия, которая, без сомнения, основана на том же принципе, что и последняя, хотя ее форма совершенно иная, - это та, к которой относится диаграмма [рис. 33](#). Насколько мне известно, раньше этого никто не замечал.

На карте нарисованы две пересекающиеся прямые линии, одна вертикальная, а другая наклонная, как показано на рисунке. Карточку нужно держать вертикально перед глазами на расстоянии наиболее четкого обзора и помахивать ею вверх-вниз на расстоянии нескольких дюймов. Тогда будет казаться, что наклонная линия колеблется в поперечном направлении, как если бы она не была жестко прикреплена к карте.

Это результат недооценки скорости перемещения карты. Вместо того чтобы признать истинное положение вещей, разум предпочитает принять предположение, что движение точки пересечения вверх или вниз частично обусловлено противоположно направленными горизонтальными движениями самих линий на поверхности карты. Когда карта опускается,

предполагается, что вертикальная линия немного сдвинется вправо, а наклонная линия - влево, что приведет к снижению точки их пересечения независимо от движения самой карты вниз. Когда карта поднимается, предполагается, что эти горизонтальные перемещения меняются местами, и, следовательно, точка пересечения поднимается. Это предположение в точности аналогично тому, которое делается, когда угол наклона невольно минимизируется.

Другой пример нестабильности ментального стандарта встречается при оценке светимости. Яркость яркого объекта, если считать в тех же единицах измерения, что и при оценке менее яркого объекта, будет казаться больше, чем кажется на самом деле, и это совершенно независимо от каких-либо последствий усталости.

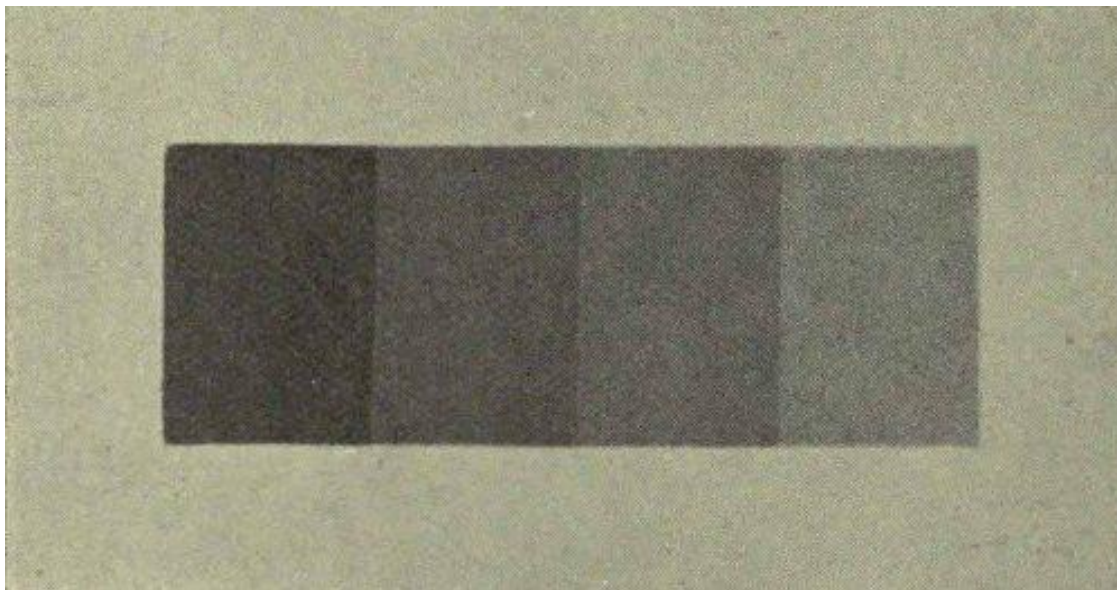


Рис. 34. Иллюзия яркости.

Этот факт хорошо иллюстрируется знакомым экспериментом. Рис. 34 сфотографирован с транспаранта, полученного наложением нескольких желатиновых пленок разной длины таким образом, чтобы образовалась серия ступеней. В правом конце изображения свет прошел только через один слой пленки; на следующем участке он прошел через два слоя, на следующем - через три и на последнем - через четыре. Яркость каждого из четырех квадратов, на которые разделен прямоугольник, в физическом смысле совершенно одинакова, но мысленный стандарт яркости варьируется для разных частей изображения, увеличиваясь или уменьшаясь, в зависимости от обстоятельств, не *per saltum*, а плавно и непрерывно, в результате чего каждый квадрат слева выглядит ярче, чем справа. Внешний вид, который часто сравнивают с фрагментом рифленой колонны, одинаково хорошо виден, когда диаграмма мгновенно освещается электрической искрой, и, следовательно, не может быть объяснен усталостью сетчатки.

Если квадраты отделены друг от друга четкими демаркационными линиями, какими бы тонкими они ни были, стандарт яркости становится одинаковым для каждого квадрата, и иллюзия

исчезает. Этот факт в достаточной степени опровергает выдвинутую гипотезу о том, что данное явление обусловлено физиологическими причинами.

Теперь я предлагаю обсудить любопытное следствие колебаний суждения о чистоте цвета без посторонней помощи.

Когда какой-либо цвет занимает преобладающее место в поле зрения, мы склонны рассматривать его как менее чистый или более бледный, чем мы могли бы, если бы он был менее заметен, поскольку наш стандарт белизны имеет тенденцию приближаться к рассматриваемому цвету.

Для наглядности давайте сначала ограничим наше внимание определенным цветом — скажем, красным. Абсолютно чистый красный цвет - это тот, который полностью свободен от какой-либо примеси белого; по мере того, как в нем содержится все больше и больше белого, он становится более нечистым, или, другими словами, более бледным, пока, наконец, не исчезнут все следы заметной красноты и цвет не будет неотличим от белого.

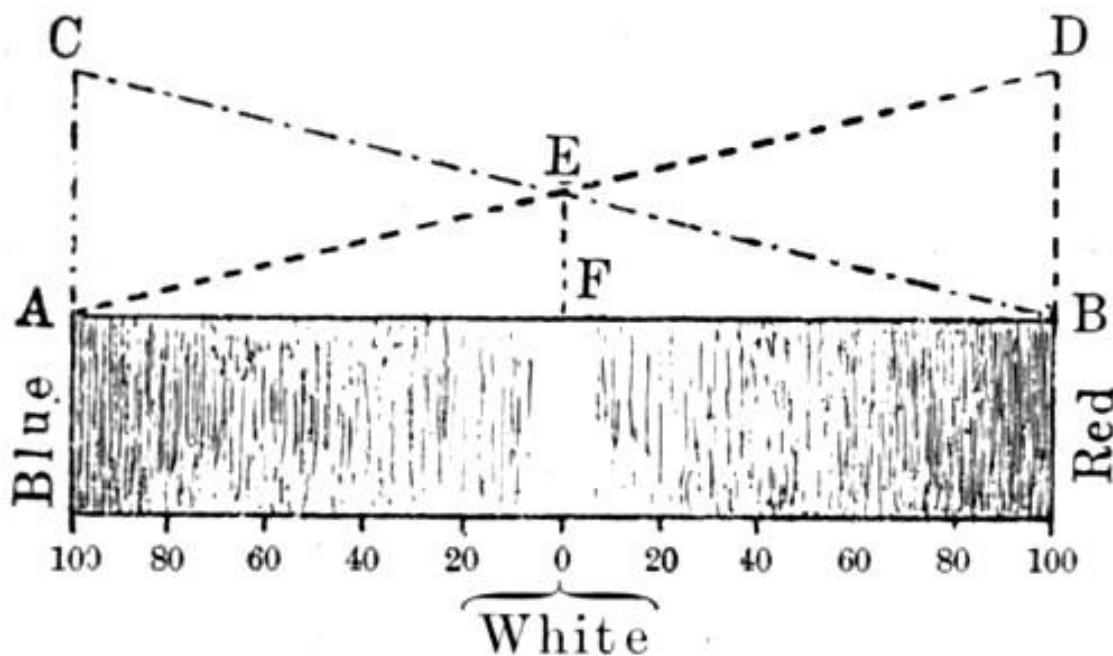


Рис. 35. Иллюзия цвета.

Удобный способ представления шкалы чистоты показан на рис. 35. Можно предположить, что заштрихованный продолговатый элемент представляет собой раскрашенную полоску картона или бумаги. В крайнем правом конце предполагается, что цвет абсолютно чистый красный; ближе к левому краю красный постепенно становится бледнее или более разбавленным, а в середине диаграммы он сливается с идеальной белизной. Цифры от 0 до 100 слева направо

обозначают процентное содержание свободного красного в смеси в разных частях шкалы; предполагается, что яркость повсюду одинакова.

Теперь белый свет, которым разбавляется красный, можно рассматривать как состоящий из двух частей, одна из которых имеет точно такой же оттенок, что и сам чистый красный, а другая - эквивалентную долю дополнительного цвета, который в данном случае будет зеленовато-голубым. Таким образом, факт заключается в том, что при переходе по шкале от 100 к 0 *общее* количество красного в смеси не уменьшается совсем, а только наполовину, в то время как зеленовато-синий добавляется в пропорциях, увеличивающихся от нуля в крайнем правом углу до 50 процентов. из целого в середине карточки. Ординаты четырехугольной фигуры E D B F показывают долю красного, а ординаты треугольника E F B - долю зеленовато-синего в разных частях шкалы.

Что касается части полосы, которая находится выше точки, отмеченной 0, как представляющей ноль цвета, то есть белизну или серость, что по сути то же самое, что и белизна, давайте продолжим диаграмму в отрицательном направлении, постепенно уменьшая количество красного, пока оно не упадет с 50%. от целого при F до нуля при A и в то же время увеличивая долю зеленовато-синего с 50%. при F до 100%. при A. Результирующий оттенок в части карты между F и A будет зеленовато-голубым, который начинает проявляться как очень бледный оттенок слева от F и становится более чистым по мере приближения к A, после чего цвет будет полностью свободен от какой-либо примеси белого.

На шкале, представленной нашему воображению таким образом, представлена пара цветов, каждый из которых занимает половину шкалы и постепенно уменьшается в чистоте к средней линии; только здесь, как раз на стадии, когда один цвет переходит в другой, цвета вообще нет, и эта область представляет собой фиксированный физический ноль или стандарт, от которого отсчитывается чистота цвета, соответствующего любой другой части шкалы. Следует заметить, что завершенная шкала, хотя изначально предназначалась только для красного цвета, оказывается в равной степени пригодной и для зеленовато-синего: если мы рассматриваем зеленовато-синий как положительный, то красный, находящийся по другую сторону от нуля, следует рассматривать как отрицательный. Любые другие возможные пары дополнительных цветов могут быть обработаны аналогичным образом.

Это устройство позволяет нам сразу понять последствия мысленного смещения нуля, в то время как физически шкала остается неизменной. Когда красный цвет является преобладающим в поле зрения, мы склонны считать его чрезмерно бледным; другими словами, мы воображаем, что он ближе к нулю шкалы, чем это имеет место на самом деле, и поэтому вынуждены слегка сдвигать наш стандарт белизны от середины к красному концу шкалы. Новое положение, присвоенное белому, находится немного правее точки, отмеченной 0 на [рис. 35](#), где при обычных обстоятельствах этот цвет был бы назван бледно-красным. В то же время объект, который обычно белый и точно соответствует середине шкалы, будет находиться немного левее воображаемого нуля и, следовательно, будет иметь зеленовато-голубой оттенок.

Это очевидное превращение белого или серого в определенный цвет наиболее бросается в глаза, когда вызывающий цвет значительно разбавлен белым или имеет слабую яркость. Небольшой фрагмент нейтрально-серой бумаги, помещенный на гораздо больший лист ярко-красного оттенка, обычно на первый взгляд [\[11\]](#) кажется зеленовато-голубым, но при сильном освещении лишь слегка. Однако, если поверх всего этого положить лист белой папиросной

бумаги, зеленовато-голубой оттенок сразу становится поразительно отчетливым и может даже казаться более четким, чем сам красный, если смотреть сквозь ткань. Один и тот же лист серой бумаги, положенный на зеленую основу, кажется розовым, а на синюю - желтым, причем эффект всегда значительно усиливается за счет разбавляющего действия наложенной поверх папиросной бумаги.

По-видимому, существует несколько причин, частично физических и частично психологических, по которым эти контрастные цвета, как их называют, становятся более выраженными, когда цвет, который их вызывает к жизни, либо имеет несколько бледный оттенок, либо слабо освещен. Вероятно, самый важный из них носит чисто физический характер. Преломляющие среды глаза гораздо менее прозрачны, чем хорошая стеклянная линза; они заметно мутнеют или опалесцируют, и вследствие этого дефекта часть света, падающего на них, неравномерно рассеивается на сетчатке. Если мы смотрим на ярко-красный объект с небольшим белым пятном на нем, изображение пятна, сформированное на сетчатке, физически не является абсолютно белым, а слегка окрашено рассеянным красным светом; однако из-за психологического воздействия, на которое было направлено наше внимание, слабая красная окраска не воспринимается сознательно; то же самое ментальное смещение нуля, которое, когда возбуждающий цвет был слабым, заставляло нас считать белое (или серое) голубовато-зеленым, теперь заставляет то, что на самом деле является бледно-красным, казаться белым.

Нет никакой необходимости предполагать, что контрастные цвета, с которыми мы имели дело, имеют физиологическое происхождение и обусловлены индуктивным действием, возбуждаемым в участках сетчатки, прилегающих к тем, на которые падает цветной свет. Напротив, было бы удивительно, если бы рассматриваемый случай представлял собой исключение из всеобъемлющего закона, управляющего колебаниями психических суждений.

О действии этого закона я привел несколько самых разных примеров, и их число можно было бы легко увеличить. Закон справедлив не только в отношении оптических явлений; в своей наиболее общей форме, дополненной в некоторых случаях очевидными следствиями, он применим почти к каждому случаю, в котором физические атрибуты любого рода являются предметом самостоятельного умственного суждения.

ГЛАВА V.

НЕОБЫЧНЫЕ ВИДЕНИЯ.

Функция глаза, рассматриваемого как оптический инструмент, ограничивается формированием светящихся изображений на сетчатке. С чисто физической точки зрения это достаточно простой прибор, и, как убедительно указал Гельмгольц, он подвержен ряду дефектов, которые

могут быть продемонстрированы простейшими тестами и которые, если бы они имели место в приобретенном в магазине инструменте, считались бы недопустимыми.

Что происходит в самой сетчатке при световом возбуждении и как возникает зрительное ощущение - это вопросы, относящиеся к физиологии и психологии; а в физиологическом и психологическом отделах зрительного аппарата мы сталкиваемся с дополнительным множеством нежелательных особенностей, от которых по природе случая свободен любой созданный человеком аппарат.

Тем не менее, несмотря на все эти недостатки, наши глаза служат нам превосходно, и при условии, что они не имеют фактических пороков развития и не пострадали от травм или болезней, мы не часто придираемся к ним. Это, однако, происходит не потому, что они так хороши, как могли бы быть, а потому, что благодаря постоянной практике мы приобрели очень высокий уровень мастерства в их использовании. Если что и является более примечательным, чем легкость и уверенность, с которыми мы научились интерпретировать показания глаз, когда они находятся в некотором соответствии с внешними объектами, так это упорство, с которым мы отказываемся быть введенными в заблуждение, когда наши глаза делают все возможное, чтобы обмануть нас. В ранние годы жизни мы начали понимать, что не должны верить всему, что видим; опыт постепенно научил нас, что в определенных точках и при определенных обстоятельствах показания наших органов зрения неизменно бессмысленны или ошибочны, и вскоре мы обнаружили, что избавило бы нас от хлопот и повысило комфорт жизни, если бы мы выработали привычку полностью игнорировать все такие зрительные ощущения, которые не имеют практической ценности. В этом большинство из нас добились поразительного успеха; настолько, что если из побуждений любопытства или ради научного эксперимента мы захотим направить наше внимание на рассматриваемые ощущения и увидеть вещи такими, какими они кажутся на самом деле, мы сможем сделать это только с величайшим трудом; иногда, действительно, совсем, если только с помощью какой-нибудь специально изобретенной уловки.

В настоящей главе предлагается обсудить несколько менее известных капризов органов зрения и показать, как их можно продемонстрировать. Следует опасаться, что некоторые эксперименты могут оказаться довольно трудными; успех будет зависеть главным образом от способности экспериментатора отбросить привычки и предрассудки и уделять пристальное внимание своим зрительным ощущениям; но вряд ли следует ожидать, что неквалифицированный человек с первой попытки заметит все явления, о которых пойдет речь.

Одной из наиболее раздражающих эксцентричностей, характеризующих чувство зрения, является то, что известно как постоянство впечатлений. Зрительное ощущение, вызываемое освещенным объектом, не прекращается в тот момент, когда устраняется или изменяется положение возбуждающей причины; оно продолжается в течение периода, который обычно считается равным примерно десятой доле секунды, но иногда может быть намного больше или меньше. Именно по этой причине мы не можем видеть деталей чего-либо, находящегося в быстром движении, а только расплывчатое пятно, возникающее в результате путаницы сменяющих друг друга впечатлений. Если заставить картонный диск, окрашенный в заметные черные и белые сектора, вращаться с достаточно высокой скоростью, деления полностью теряются из виду, и вся поверхность приобретает однородный серый оттенок. Но если быстро вращающийся диск освещается правильно рассчитанной серией электрических вспышек, это

выглядит так, как если бы он находился в состоянии покоя, и, несмотря на прерывистый характер света, черный и белый секторы можно видеть совершенно непрерывно, хотя на самом деле интервалы темноты намного длиннее интервалов освещения. О стойких впечатлениях такого рода часто говорят как о положительных остаточных образах.

Формирование положительных остаточных образов, особенно после кратковременного освещения, сопровождается весьма примечательным явлением, которое, по-видимому, до сравнительно недавнего времени полностью ускользало от внимания наиболее проницательных наблюдателей. Впервые это было случайно замечено профессором К. А. Янгом, когда он экспериментировал с большой электрической машиной, которая была недавно приобретена для его лаборатории. Он заметил, что когда в затемненной комнате происходил мощный разряд из лейденской банки, любой заметный объект был виден по крайней мере дважды, с интервалом чуть меньше четверти секунды, в первый раз ярко, во второй раз слабо. Часто это удавалось увидеть в третий раз, а иногда, но только с большим трудом, даже в четвертый. Он дал этому явлению название повторяющегося видения; возможно, его правильнее было бы назвать эффектом Юнга.

С помощью мощной машины, подаренной Королевскому институту мистером Уимшерстом и используемой в сочетании с батареей лейденских банок, эффект Юнга был успешно продемонстрирован большому собранию. Но довольно легко продемонстрировать это в небольшом масштабе с помощью любой машины воздействия, которая выдаст искру длиной около дюйма. Одна из клемм машины должна быть соединена проводом с внутренним покрытием полупинтовой лейденской банки, другая - с внешним покрытием, а выпускные шарики должны располагаться на расстоянии четверти дюйма друг от друга. Глаза наблюдателя должны быть защищены от прямого света искры любым удобным экраном, например, большой книгой, положенной на стол. Лучшим объектом для эксперимента является лист белой бумаги, помещенный в вертикальном положении на расстоянии нескольких дюймов от клемм аппарата и выставленный под полный свет разряда.

В затемненном помещении дайте машине поработать медленно, при этом глаза должны быть обращены к белой бумаге. Это будет видно на мгновение, когда искра пройдет, и после промежутка затемнения примерно в одну пятую секунды она появится еще раз на короткое время. После еще одного короткого промежутка темноты часто будет видно второе повторяющееся изображение. Следует отметить, что эффект наиболее поразителен, когда глаза направлены не точно на белую бумагу, а над ней или сбоку от нее; надлежащее расстояние между бумагой и разрядником следует определять на пробу.

При благоприятных условиях я наблюдал целых шесть или семь повторных появлений объекта, который был освещен одним разрядом. Они следовали друг за другом с обычной скоростью — около пяти в секунду - и производили мерцающий или дрожащий эффект, очень напоминающий эффект, сопровождающий вспышку молнии, которую непосредственно не видно. Действительно, не может быть никаких сомнений в том, что пресловутый трепет при вспышке молнии во многих случаях является просто эффектом повторяющегося видения, хотя иногда, конечно, как показали фотографии, разряд действительно многократный.

Несколько лет назад я обратил внимание на совершенно другой метод отображения повторяющегося изображения. Используемое для этой цели устройство состоит из вакуумной трубки, установленной обычным способом на горизонтальной оси, способной вращаться. Когда

трубка освещается быстрой чередой разрядов от индукционной катушки и приводится во вращение очень медленно часовым механизмом (поворачивающимся один раз в раз в две-три секунды), можно заметить очень любопытное явление. На расстоянии нескольких градусов позади трубы, отделенный от нее промежутком совершенной темноты, появляется призрак. Этот призрак по форме является точным воспроизведением трубки; он очень четко очерчен, и хотя его видимая яркость несколько слабовата, в большинстве случаев его можно увидеть без труда. Различные цвета оригинала, однако, отсутствуют, вся фантомная трубка имеет однородный голубоватый или фиолетовый оттенок. Если вращение внезапно прекращается, призрак продолжает неуклонно двигаться дальше, пока не достигнет светящейся трубки, с которой сливается и таким образом исчезает. (См. [Рис. 36](#), где повторяющееся изображение представлено пунктирными линиями.)

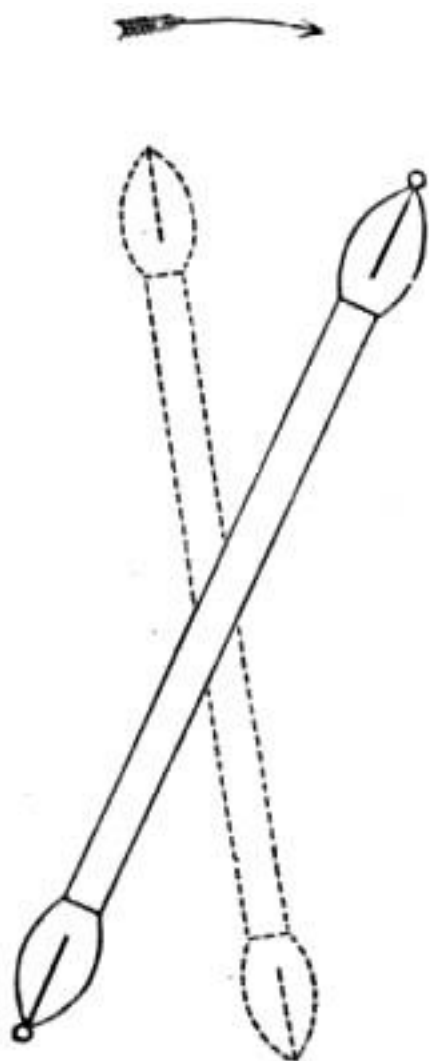


Рис. 36. Повторяющееся видение, продемонстрированное с помощью вакуумной трубки.

Совсем недавно была предпринята новая серия экспериментов в связи с эффектом Юнга и некоторыми смежными вопросами, результаты которых были отражены в сообщении Королевскому обществу (Proc. Roy. Soc., 1894, т. 56, с. 132). Среди прочего была предпринята попытка установить, насколько сильно на повторяющееся изображение влияет цвет возбуждающего света. С этой целью были использованы два метода экспериментов. В первом случае цветной свет был получен путем пропускания белого света через цветные стекла; во второй и более совершенной серии экспериментов использовался чистый цветной свет спектра. Среди других результатов было обнаружено, что *при прочих равных условиях* повторяющееся изображение было намного сильнее при зеленом освещении, чем при любом другом, и что когда возбуждение производилось чистым красным светом, каким бы интенсивным он ни был, повторяющегося изображения не было вообще.

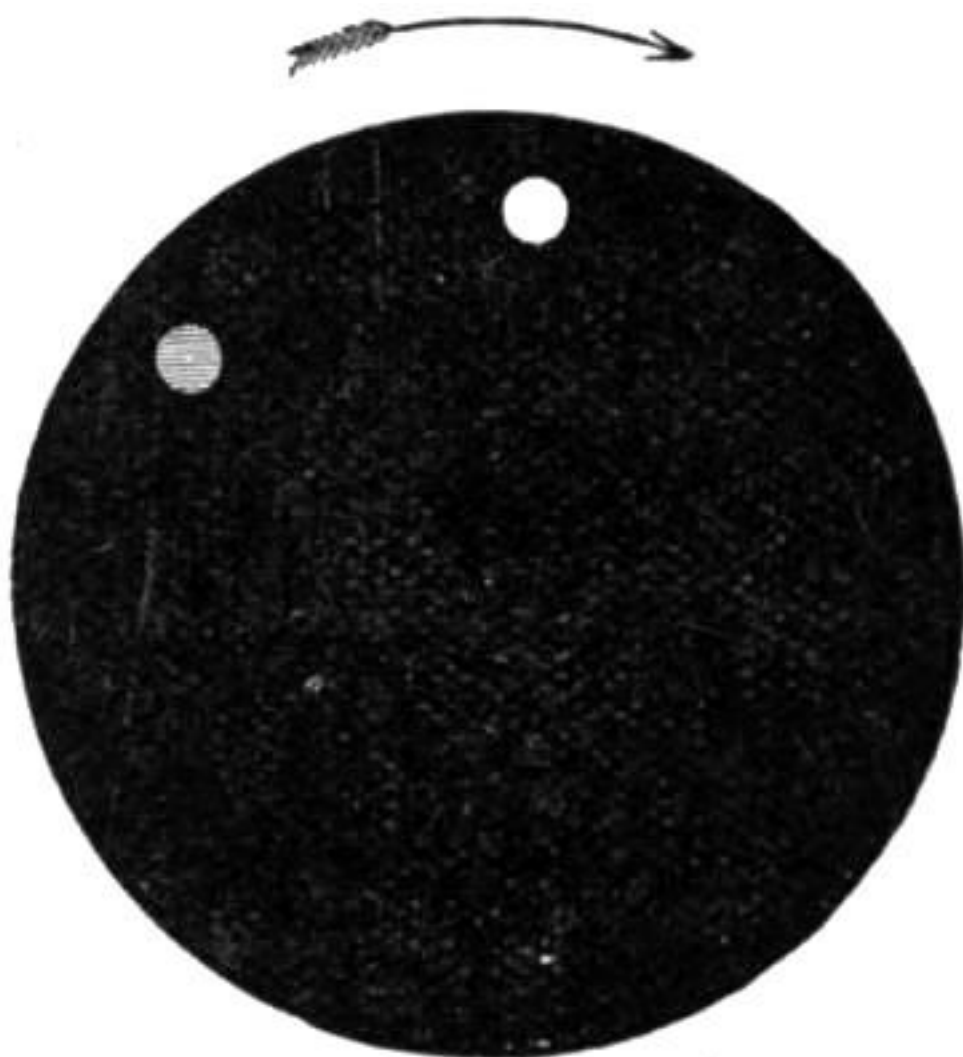


Рис. 37. Повторяющееся видение с вращающимся диском.

Для повторения моего первого эксперимента требуется механическая подставка для фонаря, содержащая металлический диск диаметром около трех дюймов, который можно заставить медленно и устойчиво вращаться вокруг своего центра. Рядом с краем диска находится небольшое круглое отверстие. Предметное стекло помещается в фонарь с подсветкой, и яркое изображение отверстия фокусируется на удаленном экране, при этом весь остальной свет тщательно отключается. Когда диск медленно поворачивается, пятно света на экране движется по кругу, и обычно можно сразу увидеть, что за ярким основным пятном на небольшом расстоянии следует гораздо более бледное пятно фиолетового цвета, которое является повторяющимся изображением первого. (См. [Рис. 37.](#)) Важно сохранять направление взгляда абсолютно устойчивым, что не очень легко сделать без практики.

Если поднести к объективу зеленое стекло, призрак будет виден в лучшем виде, и его можно будет разглядеть довольно отчетливо и легко, при условии, что не будет предприниматься попыток следить за ним глазами. При использовании оранжевого стекла призрак становится менее отчетливо видимым, и его цвет обычно кажется зеленовато-голубым, а не фиолетовым, как раньше. При замене красного стекла призрак полностью исчезает. Если скорость вращения достаточно высока, красное пятно значительно удлиняется во время вращения, и его цвет перестает быть однородным, хвост приобретает легкий голубовато-розовый оттенок. Но какой бы большой ни была скорость, полного разделения пятна на красную и розовую части добиться не удастся, и повторяющееся изображение так и не найдено.

Спектральный метод наблюдения может быть применен только в небольших масштабах и не подходит для демонстрации аудитории. Это, однако, предоставляет наилучший способ установить, насколько видимый цвет повторяющегося изображения зависит от цвета основного, что представляет определенный теоретический интерес.

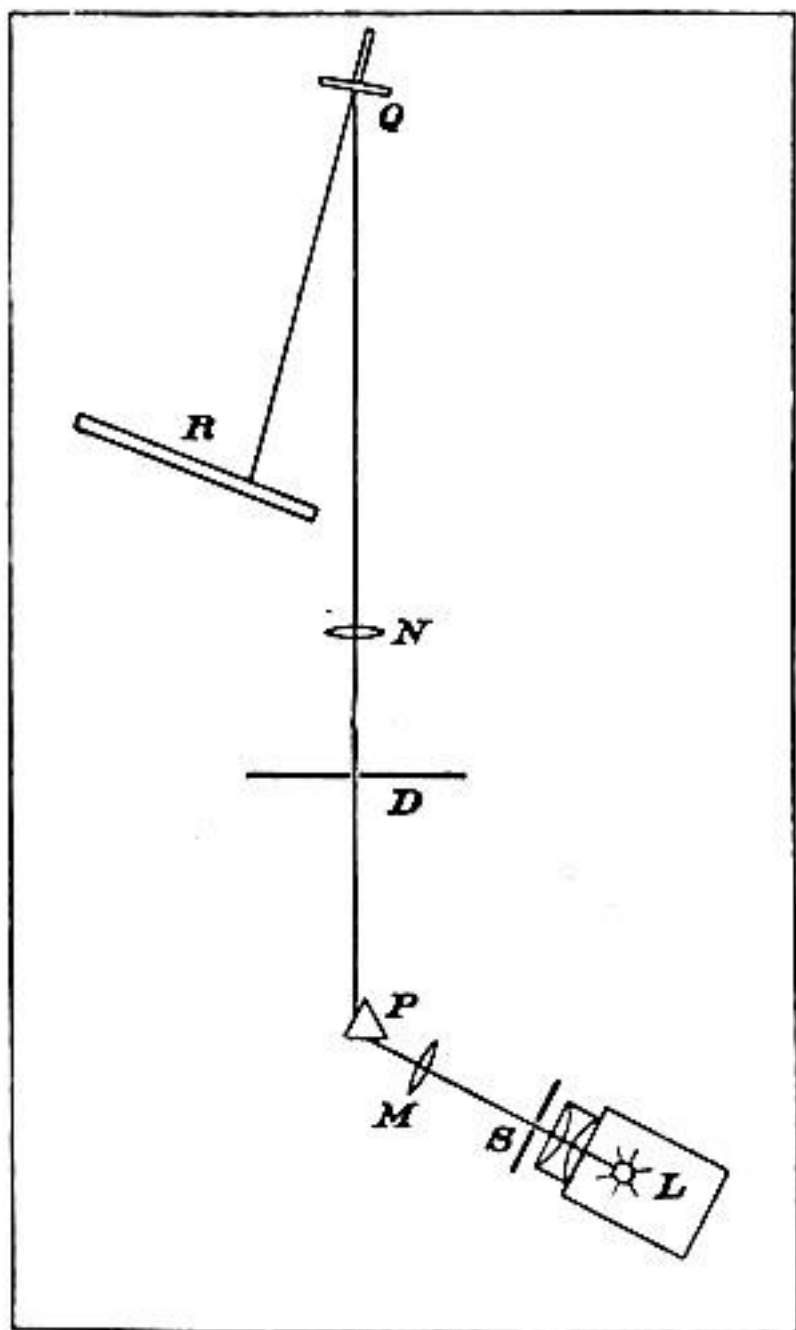


Рис. 38. Повторяющееся видение со спектром.

Принятая схема показана на прилагаемой схеме (рис. 38). L - фонарь, содержащий кислородно-водородный светильник или электродуговую лампу, S - регулируемая щель, M - проекционная линза, P - призма из бисульфида углерода, D - металлическая пластина, в середине которой находится круглое отверстие диаметром 2 миллиметра ($\frac{1}{12}$ дюймов). Яркий спектр длиной 6 или 7 сантиметров (около 3 дюймов) проецируется на эту металлическую пластину, и небольшая выделенная его часть проходит через круглое отверстие; оттуда цветной свет проходит через линзу N к маленькому зеркалу Q, которое отражает его на белый экран R. При правильной регулировке положения линзы N четкое монохроматическое изображение круглого отверстия в

пластине D фокусируется на экране R. К задней стороне зеркала Q прикреплен горизонтальный рычаг, который не совсем перпендикулярен зеркалу, причем его наклон можно регулировать. Стрелка медленно поворачивается с помощью часового механизма, в результате чего цветное пятно на экране вращается по круговой орбите диаметром около 30 сантиметров (1 фут), а его повторяющееся изображение следует на небольшом расстоянии за ним. Когда зеркало поворачивается один раз в $1\frac{1}{2}$ секунды, это изображение появляется примерно на 50° позади цветного пятна, при этом соответствующий временной интервал составляет примерно одну пятую секунды.

Используя этот прибор, было обнаружено, что за белым светом следует фиолетовое повторяющееся изображение; после синего и зеленого, когда изображение было самым ярким, его цвет также был фиолетовым; после желтого и оранжевого оно казалось синим или зеленовато-голубым. С другой стороны, когда на экране вращался полный спектр, все его повторяющееся изображение из конца в конец казалось фиолетовым; не было никаких подозрений на синий или зеленовато-голубой цвет на менее преломляемом конце. По этой и другим причинам, приведенным в статье, был сделан вывод, что истинный цвет во всех случаях был действительно фиолетовым, синий и зеленовато-голубой, очевидно, наблюдаемые в сочетании с гораздо более яркими желтым и оранжевым основного цвета, были просто иллюзорным эффектом контраста.

Таким образом, представляется вероятным, что явление, о котором говорилось как о повторяющемся видении, обусловлено главным образом, если не полностью, действием фиолетовых нервных волокон.

Периодическое зрение, без сомнения, обычно наиболее заметно после очень короткого периода освещения сетчатки, такого, который использовался в экспериментах, которые мы обсуждали; очевидно, это связано с тем фактом, что эффект легче всего воспринимается, когда чувствительность сетчатки не нарушена переутомлением. Но при небольшом усилии его можно обнаружить даже при очень длительном освещении, и опытный наблюдатель вряд ли сможет не заметить короткую вспышку голубоватого света, которая проявляется примерно через четверть секунды после внезапного гашения света в комнате; это явление привлекает мое внимание почти каждую ночь, когда я выключаю электрический свет. Вряд ли нужно указывать, что это представляет собой лишь переходную фазу хорошо известного положительного остаточного образа, и это даже наблюдалось смутным и неопределенным образом задолго до даты эксперимента профессора Янга. Гельмгольц, например, упоминает случай положительного остаточного изображения, которое, казалось, исчезло, а затем снова прояснилось, но он продолжает объяснять - ошибочно, как выясняется, — что кажущееся исчезновение было иллюзорным.

М. Шарпантье из Нанси, чьи работы в области физиологической оптики хорошо известны, был первым, кто заметил и зафиксировал замечательный феномен, который в той или иной форме должен ежедневно много раз встречаться с каждым человеком, который не является слепым, но который примерно семь лет назад абсолютно и повсеместно игнорировался. Закон, связанный с именем Шарпантье, таков: Когда темнота сменяется светом, за стимулом, который сначала получает сетчатка и который вызывает ощущение яркости, следует краткий период нечувствительности, приводящий к ощущению кратковременной темноты. Похоже, что период затемнения начинается примерно через одну шестидесятую секунды после того, как свет

впервые попал в глаз, и длится примерно столько же времени. Полное переключение от света к темноте и обратно к свету происходит так быстро, что за исключением определенных условий, которые, однако, происходят достаточно часто, его невозможно обнаружить.



Рис. 39. Темная полоса Шарпантье.

Прибор, который Шарпантье использовал для демонстрации и измерения продолжительности этого эффекта, очень прост. Он состоит из черного диска с белым сектором, установленного на оси. Когда диск освещается солнечным светом и поворачивается довольно медленно, при этом направление взгляда фиксируется на центре, на белом секторе, непосредственно за его передним краем, появляется узкая, но довольно заметная темная полоса. (См. [Рис. 39.](#)) Часть сетчатки, которая в любой момент, по-видимому, занята темной полосой, - это та часть, на которую за одну шестидесятую секунды до этого упал свет, отраженный передним краем белого сектора.

Но для того, чтобы показать темновую реакцию, не требуется специального аппарата. На [рис. 40](#) была предпринята попытка проиллюстрировать, что может увидеть любой человек, если он просто поднесет руку к глазам и направит ее к небу или любой сильно освещенной белой поверхности. Кажется, что за рукой следует темный контур, отделенный от нее светлым промежутком. То же самое происходит, в более или менее заметной степени, всякий раз, когда темный объект перемещается по яркому фону, или яркий объект по темному фону.



Рис. 40. Эффект Шарпантье, показанный Рукой.

Чтобы отчетливо увидеть эффект по оригинальному методу Шарпантье, освещение должно быть сильным. Однако, если немного изменить расположение, чтобы использовать проходящий, а не отраженный свет, то достаточно сравнительно слабого освещения. Очень эффективный способ - это повернуть небольшой металлический диск с открытым сектором около 60° перед листом матового или опалового стекла, за которым находится лампа. При размещении такого рода в большем масштабе эффект может быть легко виден аудитории. Не следует позволять глазам следить за вращением диска, они должны быть постоянно направлены в центр.

Острое и образованное зрение Шарпантье позволило ему, даже работая со своим черно-белым диском, обнаружить наличие при благоприятных условиях второй, а иногда и третьей полосы значительно меньшей интенсивности, хотя он отмечает, что наблюдение является очень сложным. Однако, вероятно, тот же эффект можно довольно легко показать другим способом, как указано в моей статье 1894 года. Если заставить диск с узкой радиальной щелью шириной около полумиллиметра ($\frac{1}{50}$ дюймов) вращаться со скоростью около одного оборота в секунду на фоне яркого фона, такого как лист матового стекла с лампой за ним, движущаяся щель приобретает вид веерообразного светящегося пятна, яркость которого уменьшается по мере удаления от передней кромки. И если взгляд будет постоянно устремлен на центр диска, то можно будет заметить, что это яркое изображение испещрено множеством темных радиальных полос, напоминающих ребра или палочки веера. Вблизи окружности можно без труда различить четыре или пять таких темных полос; ближе к центру они менее заметны из-за наложения последовательных изображений разреза. Эффект примерно показан на [рис. 41](#).

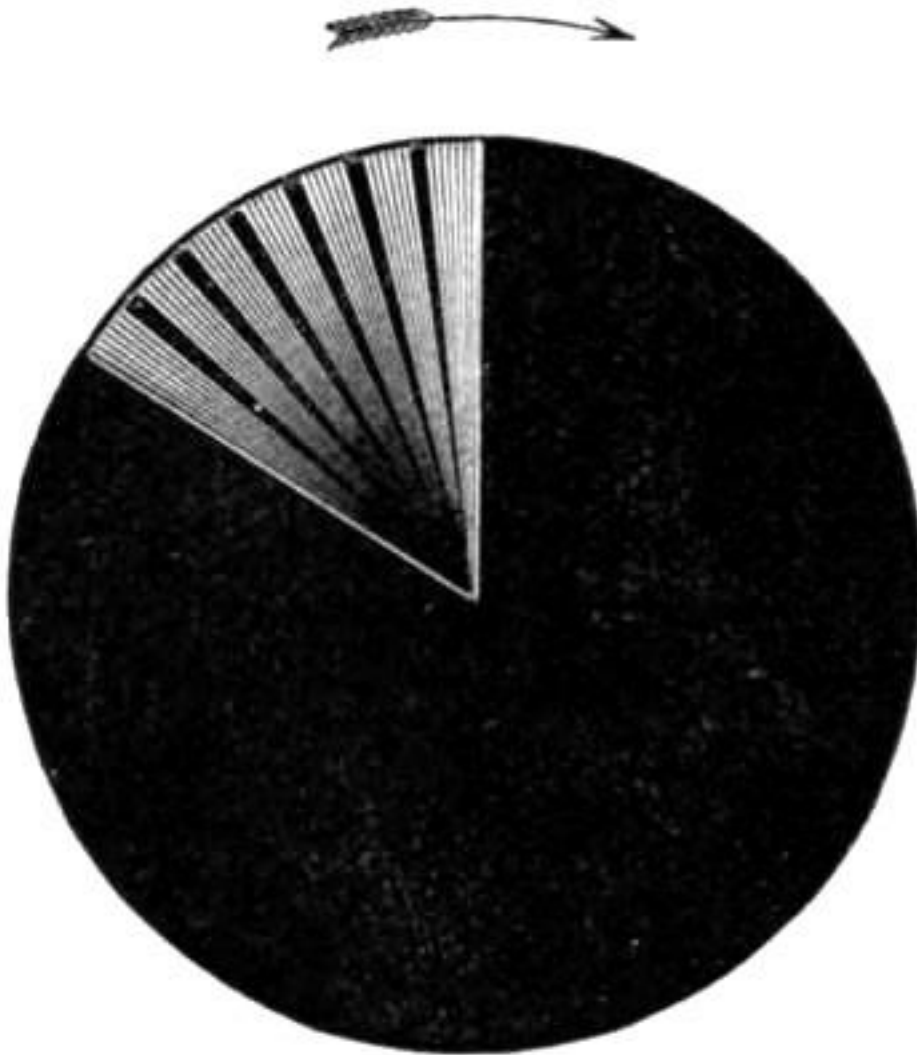


Рис. 41. Множественные темные полосы.

Реакция в темноте, известная как эффект Шарпантье, возникает в начале периода освещения. Существует также реакция затемнения очень короткой продолжительности в конце периода освещения. Следует пояснить, что благодаря так называемому правильному освещению сетчатки обычная темнота не кажется абсолютно черной: даже в темной комнате темной ночью при тщательно прикрытых глазах всегда остается некоторое ощущение яркости, которого было бы достаточно для получения действительно черного изображения, если бы таковое могло быть получено. Теперь темнота, которая ощущается после исчезновения света, на небольшую долю секунды более интенсивна, чем обычная темнота.

Первое упоминание об этой темновой реакции, возможно, встречается в статье, опубликованной в *Nature* в 1885 году, в которой говорилось, что при отключении тока от освещенной вакуумной трубки “светящееся изображение почти мгновенно заменялось соответствующим изображением, которое казалось интенсивно черным на менее темном фоне”, и которое, по оценкам, длилось от четверти до половины секунды. “Аномальная темнота, - было добавлено, - следует как реакция после яркости”.

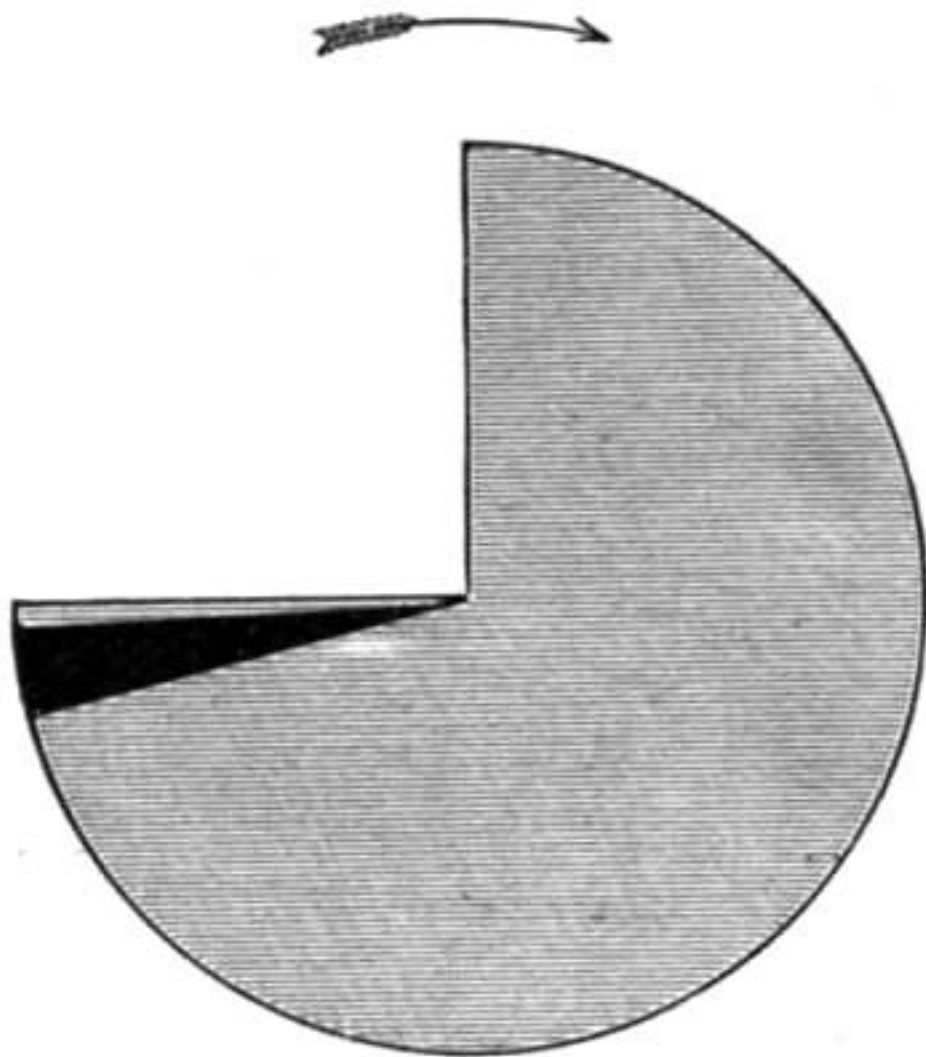


Рис. 42. Временная нечувствительность глаз.

В упомянутом выше документе Королевского общества этот вопрос обсуждается далее и описывается метод, с помощью которого можно легко выявить стадию реакции и приблизительно измерить ее продолжительность. Если заставить полупрозрачный диск, сделанный из плотной рисовальной бумаги и имеющий открытый сектор, медленно вращаться на светящемся фоне, то на бумаге очень близко к краю, который следует за открытым сектором, появится узкая радиальная темная полоса, похожая на полосу черной краски. Исходя из пространства, покрываемого этой полосой, когда диск вращался с известной скоростью, продолжительность реакции затемнения была рассчитана примерно в одну пятидесятую секунды; следовательно, моя первоначальная оценка была завышенной. Эксперимент проиллюстрирован на [рис. 42](#).

Следует отметить еще один интересный момент в череде визуальных явлений, сопровождающих период озарения. Ощущение яркости, которое возникает, когда свет впервые

попадает в глаз, примерно на шестидесятую долю секунды намного интенсивнее, чем становится впоследствии. Об этом свидетельствует тот факт, который становится достаточно очевидным, когда на него обращено внимание, что яркая полоса, которая на диске Шарпантье проходит между темной полосой и передним краем белого сектора, кажется гораздо более ярко освещенной, чем любая другая часть сектора.

Полный порядок зрительных явлений, наблюдаемых при воздействии света на сетчатку в течение ограниченного времени, можно, следовательно, резюмировать следующим образом:—

(1) Сразу после воздействия света возникает ощущение свечения, интенсивность которого увеличивается примерно на одну шестидесятую секунды: к концу этого периода быстрее, чем вначале.

(2) Затем следует внезапная реакция, продолжающаяся также примерно одну шестидесятую секунды, в результате которой сетчатка становится частично нечувствительной к возобновившимся или продолжающимся световым впечатлениям.

Эти два эффекта могут повторяться в меньшей степени, до трех-четырех раз.

(3) Стадия колебания сменяется ощущением постоянного свечения, интенсивность которого, однако, значительно ниже среднего значения, испытываемого в течение первой шестидесятой секунды.

(4) После отключения внешнего освещения ощущение уменьшающейся яркости сохраняется в течение короткого времени, за которым следует короткий промежуток темноты.

(5) Затем следует внезапное и четко выраженное ощущение того, что можно назвать аномальной темнотой - темнее обычной темноты, — которое длится примерно одну шестидесятую секунды, а за ним следует еще один интервал обычной темноты.

(6) Наконец, примерно через пятую долю секунды после исчезновения внешнего света возникает еще одно временное ощущение яркости, обычно фиолетового цвета, после чего однородность темноты остается неизменной.

Рис. 43, который скопирован из моей статьи, дает грубое схематическое представление описанной выше цепочки ощущений. Здесь не принимаются во внимание сравнительно слабые остаточные изображения, которые следуют за повторяющимся изображением и могут длиться несколько секунд.

Теперь я предлагаю сказать несколько слов о любопытном феномене зрения, который не так давно вызвал значительный интерес.

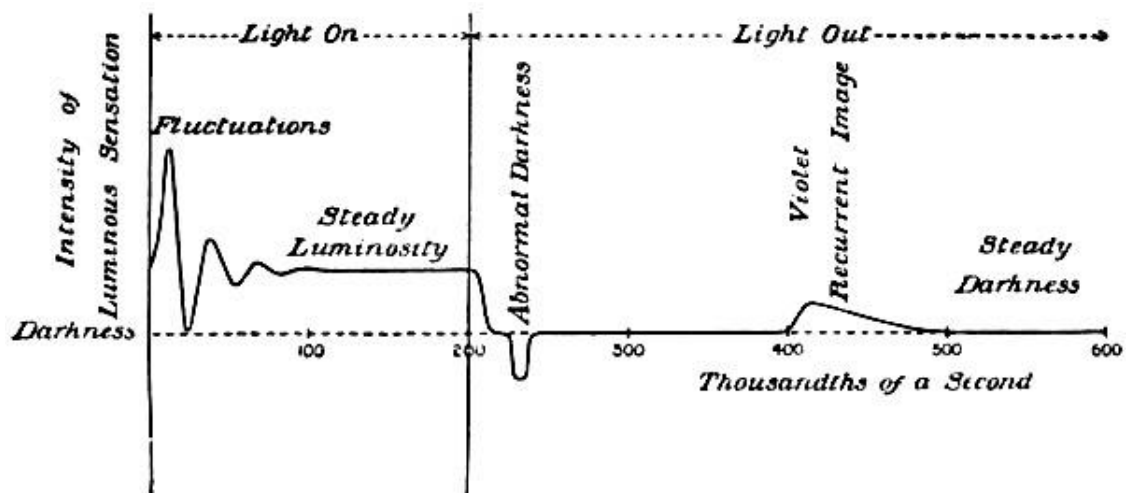


Рис. 43. Зрительные ощущения, сопровождающие период Освещения.

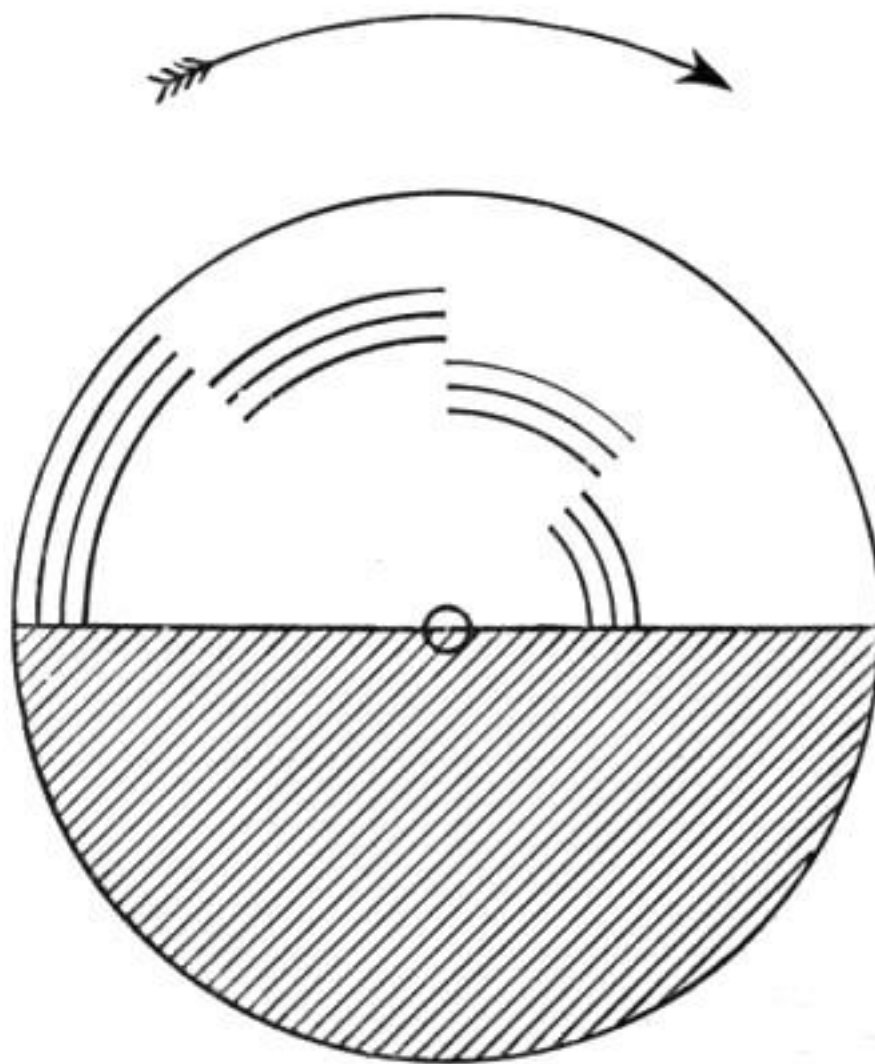


Рис. 44. Вершина Бенхэма.

В 1895 году мистер К. Э. Бенхэм выпустил симпатичную маленькую игрушку, которую он назвал "Искусственный волчок Спектра". Он состоит из картонного диска, одна половина которого окрашена в черный цвет, а на другой половине нарисованы четыре последовательные группы изогнутых черных линий на разном расстоянии от центра, как показано нарис. 44. Когда диск вращается довольно медленно, кажется, что каждая группа черных линий приобретает свой цвет, природа которого зависит от скорости вращения, интенсивности и качества света. При наилучших условиях внутренняя и внешняя группы линий становятся ярко-красными и темно-синими; в то же время промежуточные группы также кажутся окрашенными, но оттенки, которые они принимают, довольно неопределенны и их трудно определить. Безусловно, самый яркий из цветов, представленных топом, - красный, а рядом с ним синий; этот последний, однако, иногда описывается как голубовато-зеленый.

Некоторые эксперименты, проведенные мной в 1896 году (Proc. Roy. Soc., т. 60, с. 370), по-видимому, довольно ясно указывают на причину замечательного ярко-красного цвета, а также на причину синего. Более слабые оттенки двух промежуточных групп линий, возможно, являются результатом сходных причин в модифицированной форме, но они еще не исследованы.

В красном цвете мы имеем еще один поразительный пример чрезвычайно распространенного явления, которым обычно пренебрегают; более того, я не могу найти никаких записей о том, что его вообще когда-либо замечали. Дело в том, что всякий раз, когда после периода сравнительной темноты на сетчатке внезапно формируется яркое изображение, на короткое время кажется, что это изображение окружено узкой цветной каймой, цвет которой при обычных условиях освещения является красным. Если свет очень сильный, переходная граница становится зеленовато-голубой, но этот цвет, как будет объяснено позже, оказался всего лишь последствием красного. Иногда, когда объект находится в движении, красный и синий цвета видны вместе.

Наблюдения были впервые сделаны следующим образом. Почерневшая цинковая пластинка, в которой есть маленькое круглое отверстие, закрытое листом тонкой писчей бумаги, закреплена поверх большего отверстия в деревянной доске; таким образом, мы получаем четко очерченный полупрозрачный диск, окруженный совершенно непрозрачным веществом. Предусмотрено устройство для закрывания полупрозрачного диска шторкой, которую можно очень быстро открыть, отпустив сильную пружину. Если этот аппарат держать между глазами и лампой, и полупрозрачный диск внезапно раскрывается при нажатии на затвор, то на короткое время кажется, что диск окружен узкой красной каймой. Ширина границы составляет, возможно, миллиметр ($1/25$ дюймов), а видимость длится примерно десятую долю секунды. Большинство людей поначалу совершенно неспособны распознать этот эффект, трудность заключается в том, чтобы не видеть его, а знать, что ты его видишь. Те, кто привык к визуальным наблюдениям, обычно воспринимают это без каких-либо затруднений, когда знают, на что обращать внимание, и, без сомнения, это было бы очень очевидно для ребенка, который не слишком продвинулся в развитии своих глаз.

Еще одно устройство значительно облегчает наблюдение. Если диск разделен на две части непрозрачной полосой посередине, ясно, что каждая половина диска будет иметь свою красную кайму, а если полоска сделана достаточно узкой, красные каймы по ее краям будут

пересекаться или, возможно, перекрываться, и вся полоса на мгновение после открытия затвора будет казаться красной. Таким образом, был получен диск путем приклеивания поперек бумаги очень узкой полоски фольги. Эффект, возникающий при внезапном обнажении такого диска, показан на [рис. 45](#), причем красный цвет представлен штриховкой.

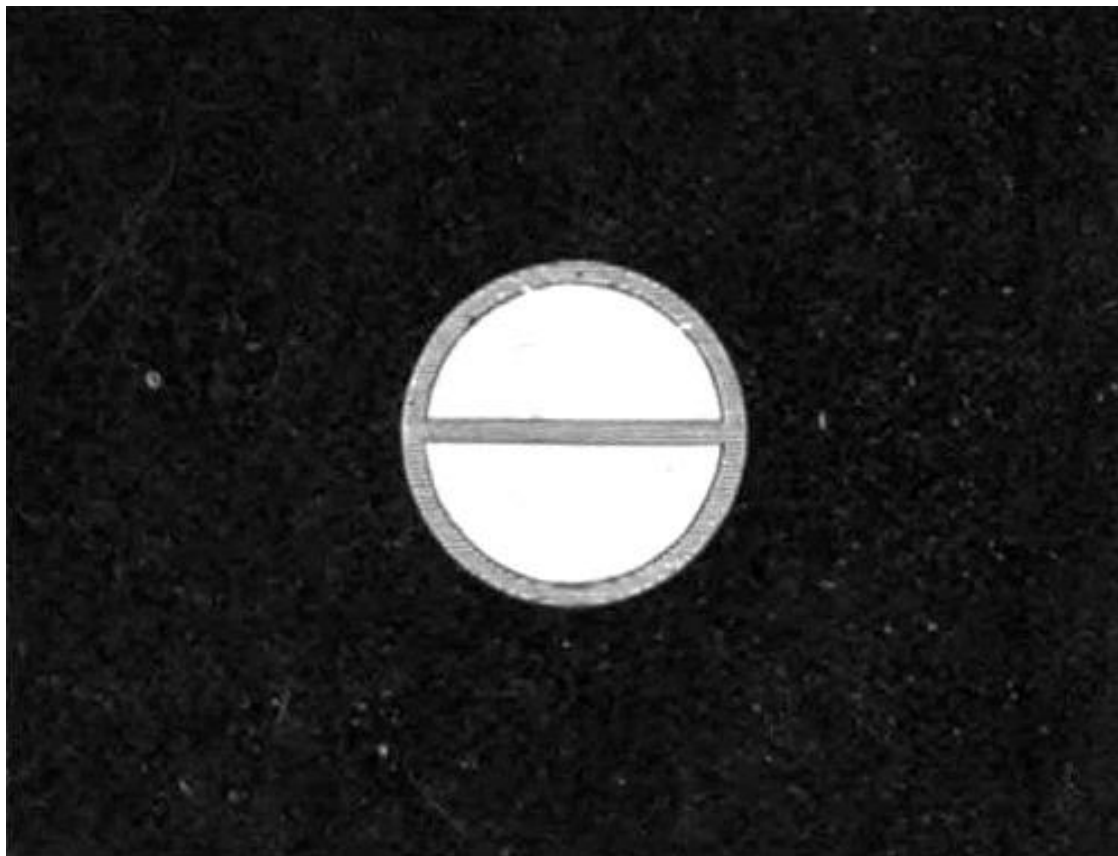


Рис. 45. Демонстрация красных границ.

Более простого аппарата, однако, вполне достаточно для демонстрации явления, [\[12\]](#) и с практикой можно даже приобрести способность видеть это вообще без какой-либо искусственной помощи. Я много раз замечал красные отблески на черных буквах книги, которую я читал, или на краях страницы: яркие металлические или полированные предметы часто показывают это, когда они проходят через поле зрения в результате движения глаз, и это было случайное наблюдение такого рода, которое подсказало следующий простой способ экспериментального проявления эффекта.

Электрическая лампа накаливания была закреплена за круглым отверстием в металлическом листе, который был прикреплен к доске. Отверстие было покрыто слоем писчей бумаги толщиной в два или три слоя, образуя яркий диск почти одинаковой яркости. Когда это устройство перемещалось довольно быстро либо взад-вперед, либо по кругу по небольшому кругу, край образованной таким образом полосы света казался окаймленным красным.

Если этот эксперимент проводить при сильном освещении за бумагой, полоса окаймляется зеленовато-синим, а не красным цветом. При промежуточной степени освещения синий и красный цвета могут быть видны вместе.

Большинство эффектов, которые были описаны до сих пор, были вызваны проходящим светом, но отраженный свет покажет их не менее хорошо. Если вы положите печатную книгу перед собой рядом схорошей лампой и поставите перед глазами темный экран, то, когда экран внезапно уберут, печатные буквы на мгновение покажутся красными, которые быстро сменятся черными. Требуется некоторая практика, прежде чем это наблюдение может быть выполнено удовлетворительно, но с помощью простого устройства можно стереть изображение букв до того, как краснота успеет исчезнуть; тогда цвет становится довольно легко различимым.

Поставьте рядом два экрана, черный и белый, таким образом, чтобы между ними оставалось свободное пространство. (См. [Рис. 46](#).) В первую очередь позвольте черному экрану закрыть печать; затем быстро сдвиньте экраны вбок, чтобы напечатанные буквы можно было на мгновение увидеть через щель, прекратив движение, как только страница будет закрыта белым экраном. При кратком взгляде на черные буквы, когда над ними проходит промежуток, они, если освещение подходящее, будут казаться ярко-красными.

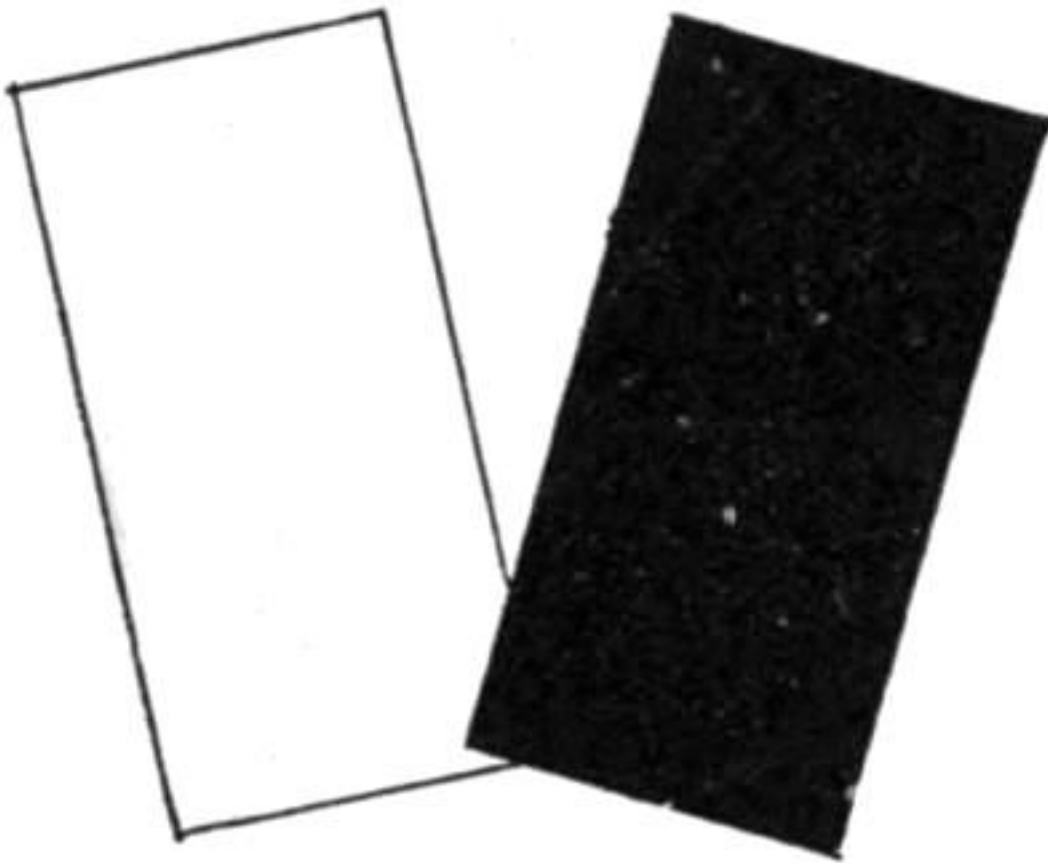


Рис. 46.—Черно-белые экраны.

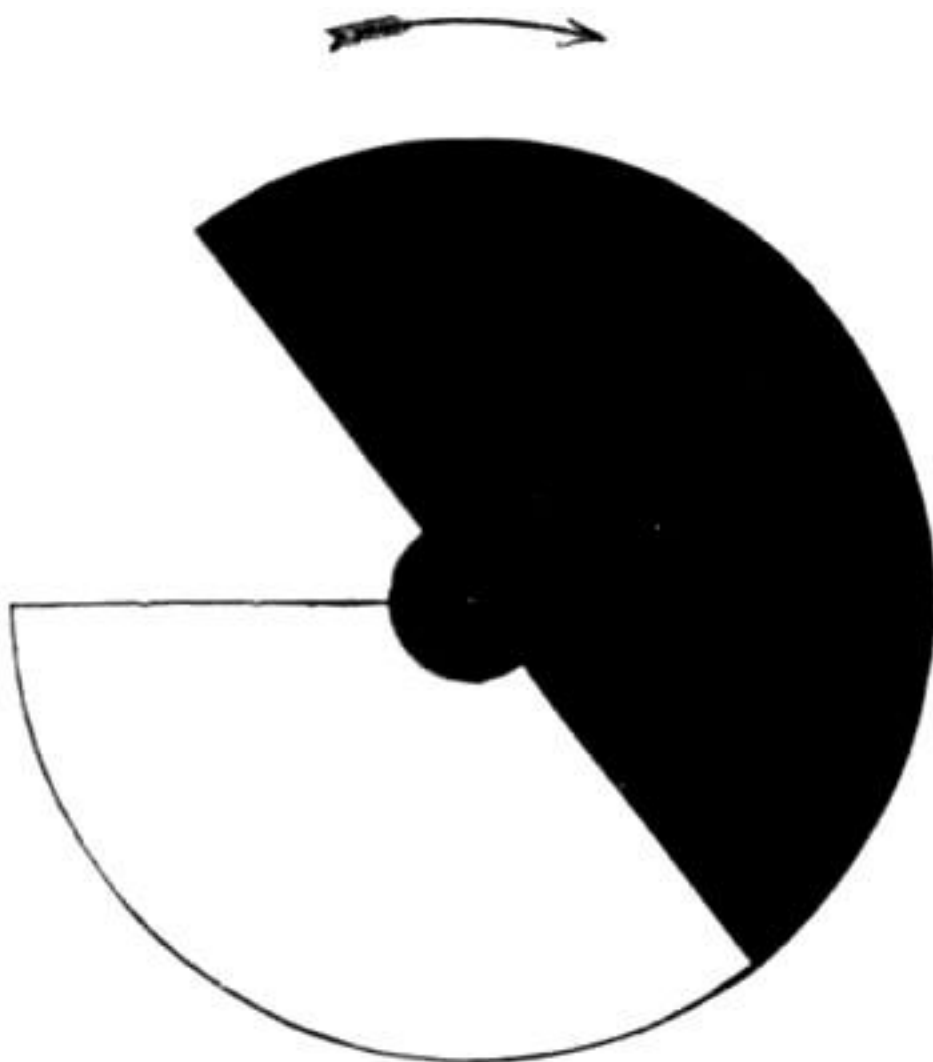


Рис. 47. Диск для красных границ.

Мы можем пойти еще дальше. Вырежьте диск из белого картона, разделите его на две равные части прямой линией, проходящей через центр, и покрасьте одну половину в черный цвет.^[13] На стыке черной и белой частей вырежьте зазор, который удобно может иметь форму сектора под углом 45° . (См. Рис. 47.) Воткните длинную булавку в центр и держите композицию за заостренный конец булавки в нескольких дюймах над напечатанной страницей при хорошем освещении. Заставьте диск вращаться со скоростью примерно пять-шесть оборотов в секунду, ударя по краю пальцем. Как и прежде, буквы, видимые через щель, будут казаться красными, а постоянство сделает повторяющиеся оттиски почти непрерывными до тех пор, пока поддерживается вращение; любой, кто впервые увидит печать через вращающийся диск, поверит, что это сделано красными чернилами. Необходимо следить за тем, чтобы диск не отбрасывал тень на страницу и чтобы интенсивность освещения была правильно отрегулирована. Я разработал несколько более сложных приспособлений для обеспечения равномерного вращения дисков; одно из них показано на рис. 50.

Ни в одном из этих экспериментов протяженная черная поверхность никогда не казалась красной, а только черными точками или линиями. И линии не должны быть слишком толстыми; если их толщина намного превышает миллиметр ($1/25$ дюймов), линии, видимые наблюдателем с обычного расстояния для чтения, становятся красными не по всей длине, а только по краям. На самом деле появление красного цвета происходит не из-за самих черных линий: они служат просто фоном для выделения красной каймы, которая окаймляет белые участки бумаги снаружи, и ширина этой каймы не превышает примерно одной пятой градуса. Но благодаря использованию достаточно большого диска и выбору рисунков или букв, состоящих из линий подходящей толщины, цветовой эффект был продемонстрирован широкой аудитории.

Когда диск поворачивают в противоположном направлении, так что промежутку предшествует белый цвет, а за ним следует черный, линии рисунка, на первый взгляд, становятся темно-синими, а не красными. Внимательное наблюдение, однако, показывает, что кажущийся синим оттенок образуется не на самих линиях, как это было с красным оттенком, а на белом фоне сразу за ними. Это привлекает наше внимание к другому пограничному явлению, которое, по-видимому, проявляется, когда на ярком фоне внезапно образуется темное пятно, поскольку именно это, по сути, и происходит, когда диск поворачивают в обратную сторону. Я предпринял несколько попыток получить более прямые доказательства того, что такое темное пятно на мгновение показалось с синей каймой, и после некоторых затруднений мне это удалось.

В деревянной доске вырезали круглое отверстие и закрывали белой бумагой; за доской помещали лампу, и таким образом получался яркий диск, как в предыдущем эксперименте. Было подготовлено устройство, с помощью которого одна половина этого яркого диска могла быть внезапно закрыта металлической заслонкой, и было обнаружено, что когда это было сделано, на яркой поверхности сразу за краем заслонки, примыкающей к ней, когда она останавливалась, появлялась узкая синяя полоса. Синяя полоса длилась около десятой доли секунды и, казалось, исчезла, отступив за черный край затвора. Это явление проиллюстрировано на [рис. 48](#), где заштрихованная полоса обозначает синюю границу.

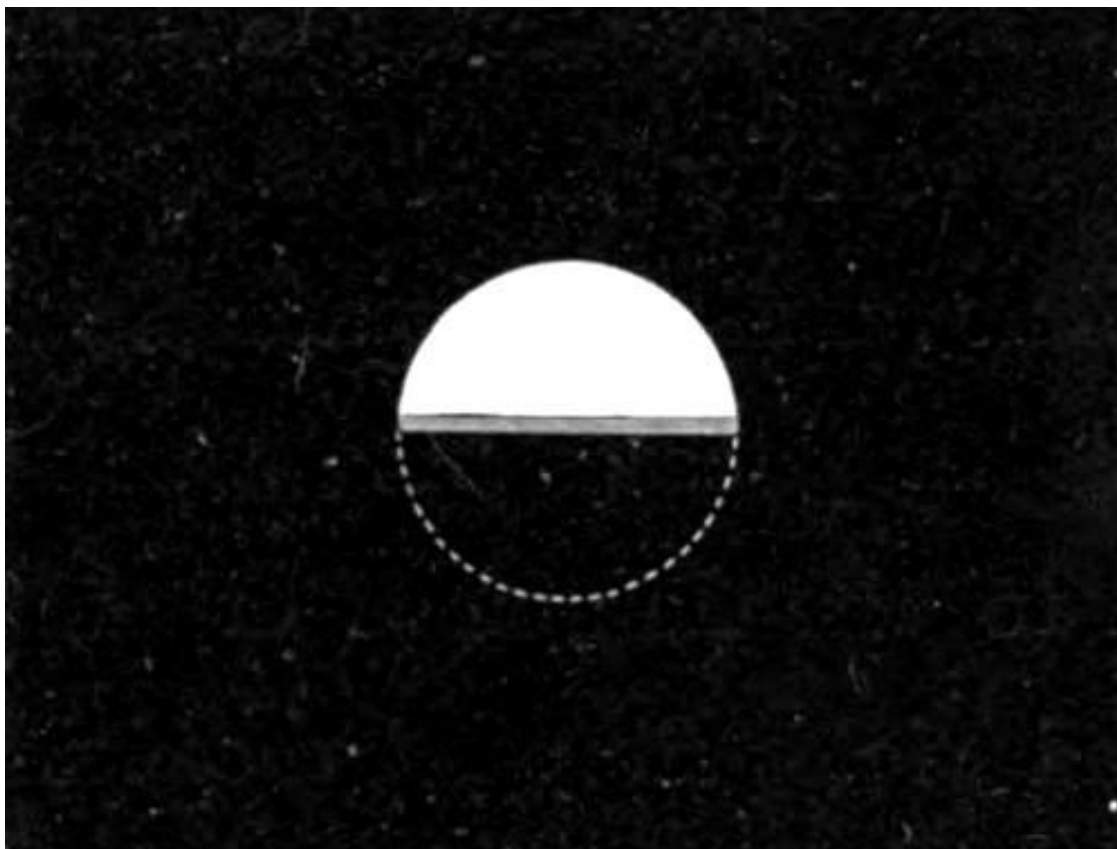


Рис. 48. Демонстрация синей рамки.

Затем мы должны объяснить, если возможно, два факта, что при образовании этих переходных цветовых границ ощущение красного возникает в части сетчатки, которая сама не подвергалась прямому воздействию света, в то время как синее возникает в части, которая постоянно освещена, причем оба цветовых ощущения относятся к областям, смежным с теми, в которых внезапно произошла смена освещения. Принимая теорию цветового зрения Юнга-Гельмгольца, я думаю, что эти эффекты следует отнести к симпатическому поражению красных нервных волокон. Когда различные нервные волокна, занимающие ограниченную часть сетчатки, внезапно стимулируются белым светом (или любым видом света, содержащим красную составляющую), непосредственно окружающие красные нервные волокна на короткий период симпатически возбуждаются, в то время как фиолетовые и зеленые волокна возбуждаются не так сильно или в гораздо меньшей степени. И снова, когда свет внезапно прекращается от пятна в ярком поле, в красных волокнах сразу за затемненным участком возникает симпатическая нечувствительная реакция, в силу которой они на мгновение перестают реагировать на световой стимул; зеленые и фиолетовые волокна, продолжая непрерывно реагировать, вызывают ощущение синей каймы.

Возможно, желательно кратко сослаться на другое предложенное объяснение этого явления, которое пришло мне в голову на ранней стадии расследования и с тех пор было предложено многими разными людьми. Объяснение, о котором идет речь, носит чисто физический характер и зависит от отсутствия ахроматизма глаза.

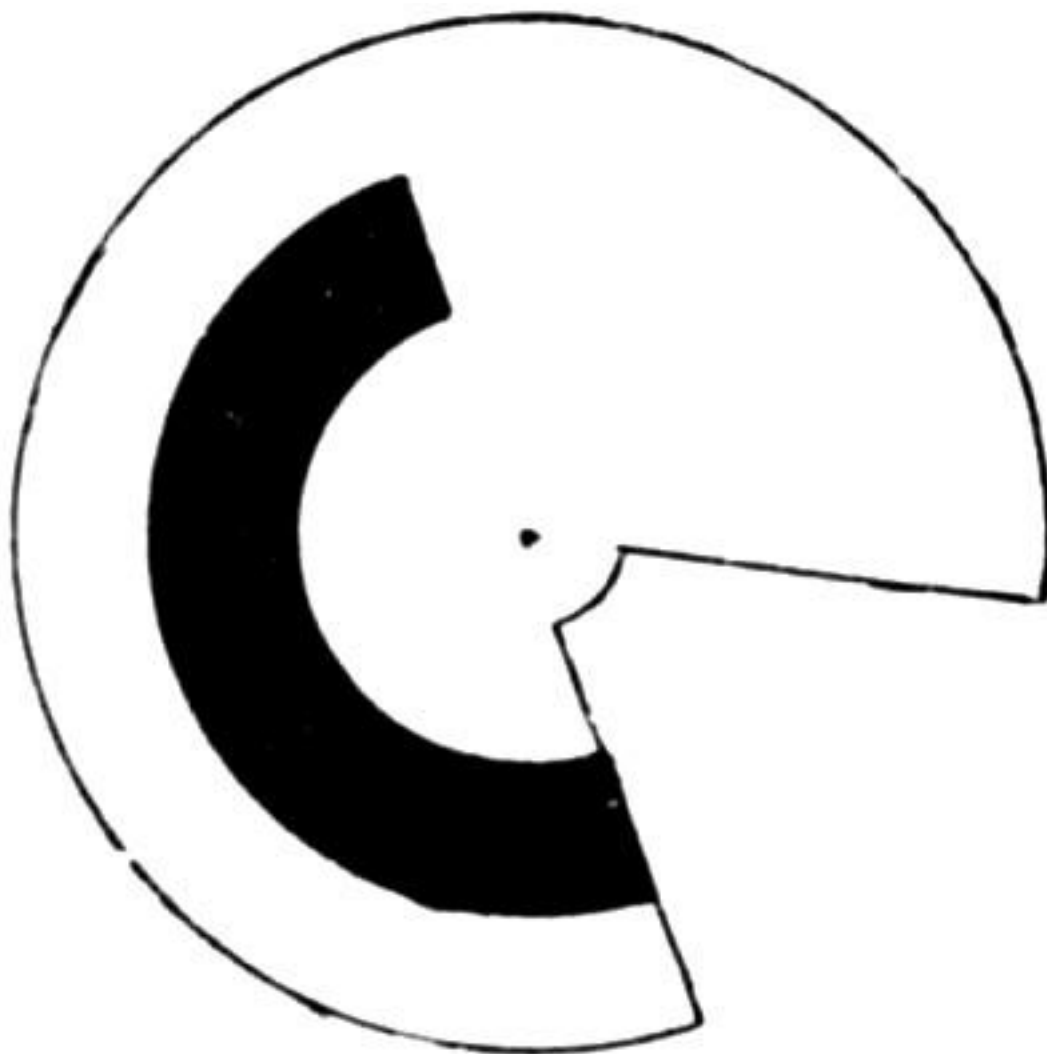


Рис. 49. Диск для экспериментов по определению происхождения цветowych границ.

Не вдаваясь в подробности, достаточно будет процитировать один-единственный эксперимент, который сам по себе является фатальным для любой подобной теории. Подготовьте диск, подобный показанному на [рис. 49](#), и вращайте его над страницей распечатки. Буквы под зоной, которая частично черная, а частично белая, при обычных условиях станут красными, но буквы под остальной частью диска сохранят свою черноту. Разграничение вполне определенное, и можно сделать так, чтобы одно печатное слово было выделено красным посередине и черным по двум его концам. Теперь, конечно, невозможно, чтобы линзы глаза были идеально приспособлены к буквам, которые кажутся черными, и в то же время серьезно не в фокусе для остальных. Следовательно, это объяснение, каким бы простым и очевидным оно ни казалось, совершенно несостоятельно.

Верна ли гипотеза, которую я выдвинул, во всех деталях или нет, я думаю, достаточно очевидно, что красный и синий цвета волана Бенхэма обусловлены точно теми же причинами, что и цвета,

наблюдаемые в моих собственных экспериментах, поскольку существенные условия в обоих случаях одинаковы.

Последнее любопытство, на которое я обращаю внимание, связано с уже упомянутым фактом, что при сильном освещении переходные цвета границ почти меняются местами, зеленовато-синий появляется вместо красного, а кирпично-красный - вместо синего.

Я долгое время был совершенно неспособен представить какое-либо разумно вероятное объяснение этого обстоятельства, но в конце концов был получен ключ к разгадке из рассмотрения того факта, что зеленовато-синий цвет дополняет красный, и в последующих мемуарах (Proc. Roy. Soc., vol. 61, p. 269) были описаны некоторые эксперименты, которые, как я полагаю, убедительно показывают, что зеленовато-голубые границы, видимые при сильном освещении, являются просто негативными остаточными изображениями обычного красного.

Эти негативные остаточные изображения относятся к знакомому виду, которые наблюдаются после того, как человек некоторое время смотрел на ярко окрашенный объект. Если на красную "вафлю", лежащую на листе белой или серой бумаги, пристально смотреть около полуминуты, а затем внезапно перевести взгляд на какую-нибудь другую часть бумаги, то будет виден зеленовато-голубой призрак вафли. Часть сетчатки, на которую сначала падает красное изображение, становится утомленной и частично нечувствительной к красному свету; поэтому она неспособна воспринимать красную составляющую белого света, впоследствии отраженного от нее бумагой, и, следовательно, преобладает ощущение дополнительного цвета; отсюда зеленовато-голубой оттенок, который называется негативным остаточным изображением пластины.

Новые эксперименты показывают, что при выполнении определенного условия обычный длительный взгляд становится ненужным, достаточно мимолетного взгляда, чтобы создать сильное, но мимолетное остаточное изображение. Условие состоит в том, что часть сетчатки, где должно формироваться изображение, должна быть затемнена непосредственно перед возбуждением ярким объектом. Нервы сетчатки, находясь в темноте, быстро приобретают чувствительность, намного превышающую нормальное среднее значение при освещении, но снова быстро снижающуюся под влиянием освещения. Действительно, эта особая чувствительность может быть как приобретена, так и утрачена за малую долю секунды, и поэтому она очень благоприятна для быстрого получения негативных остаточных изображений.

Еще раз используя черный и белый экраны, изображенные на [рис. 46](#), пусть черный экран сначала покроет бумагу, на которой лежит пластинка; это затемнит часть сетчатки и сделает ее чувствительной. Затем быстро сдвиньте сита в сторону, чтобы пластина, на мгновение показавшаяся в отверстии, могла быть немедленно закрыта белым экраном. На смену красному впечатлению придет яркий, но мимолетный зеленовато-голубой призрак.

Но самое любопытное, что при сильном освещении и перемещении экранов с надлежащей скоростью никаких следов красного не будет видно вообще; это будет выглядеть точно так, как если бы фактический цвет пластины, видимой через щель, был зеленовато-голубым. Мне сообщили, что аналогичные явления наблюдались и в других областях физиологии; иногда возникает четко определенная реакция, когда невозможно обнаружить прямых доказательств существования возбуждения, которым должна быть вызвана реакция.

Как и в предыдущих экспериментах, эффект может проявляться непрерывно с помощью вращающегося диска с открытым сектором. Прилагаемая схема (рис. 50) показывает удобное устройство для этой цели. Диск сделан из тонкого металла и должным образом сбалансирован; темная часть поверхности покрыта черным бархатом, а светлая - неглазурованной серой или желтовато-коричневой бумагой. Он должен поворачиваться примерно шесть-восемь раз в секунду, при этом его передняя часть хорошо освещена либо ярким рассеянным дневным светом, либо мощной лампой. Красная карточка, помещенная за вращающимся диском, выглядит зеленой, зеленая - розовой, а синяя - желтой, в то время как черное пятно, нарисованное на белом фоне, кажется светлее самого фона. Я подготовил несколько рисунков, которые демонстрируют это явление очень ярким образом. Одна из них - изображение дамы с волосами цвета индиго, изумрудно-зеленым лицом и в алом платье, которая изображена любующейся фиолетовым подсолнухом с пурпурными листьями. При взгляде сквозь диск локоны дамы кажутся льняными, цвет ее лица - нежно-розовым, а платье - светло-голубым, как у павлина; лепестки подсолнуха также становятся желтыми, а его листва - зеленой. Другие дизайны демонстрируют столь же замечательные изменения цвета.

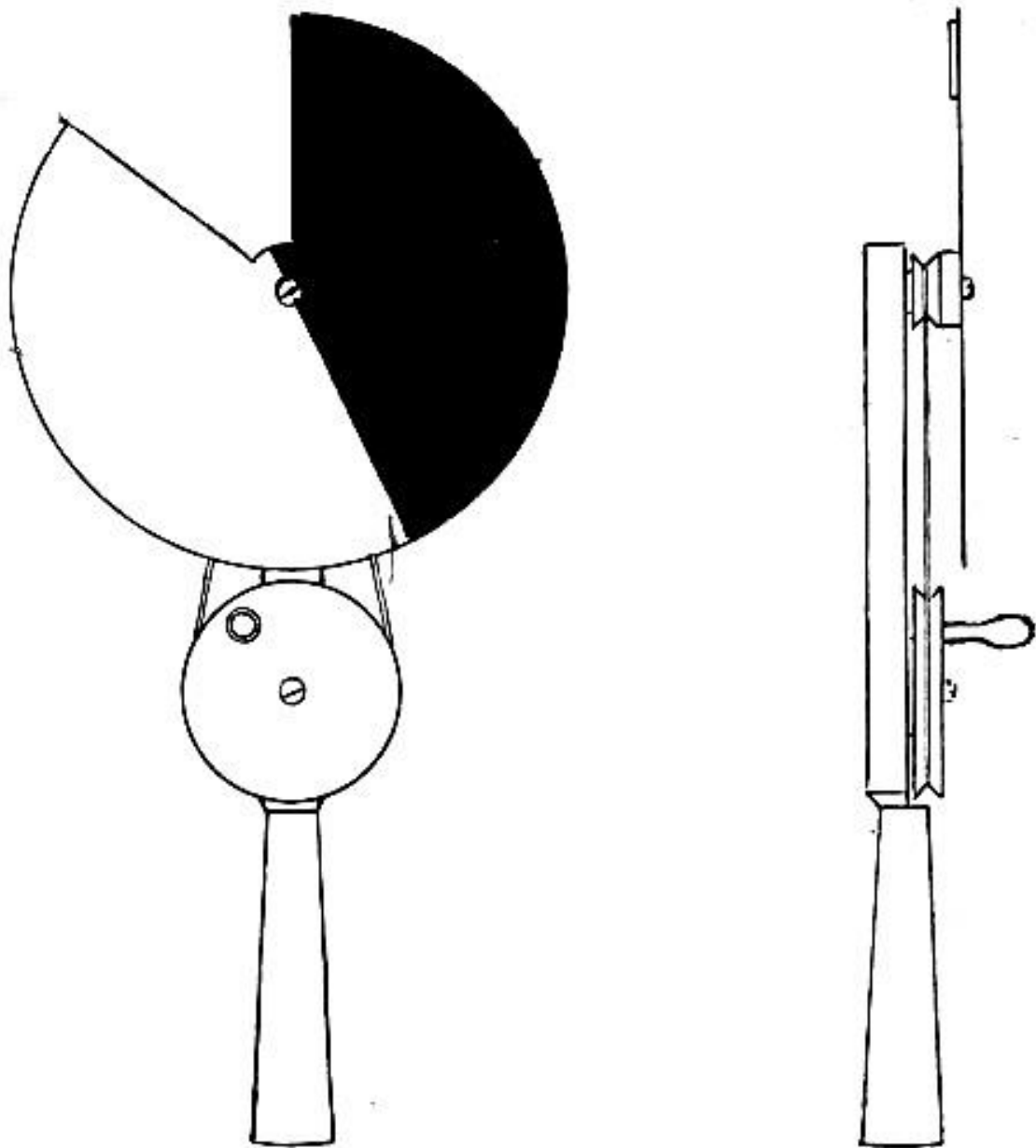


Рис. 50. Диск для преобразования цветов.

Я упомянул лишь некоторые из множества любопытных явлений, которые проявились в ходе этих исследований. Не исключено, что тщательное изучение субъективных эффектов, вызываемых прерывистым освещением, привело бы к результатам, имеющим тенденцию прояснять несколько сомнительных моментов в теории цветового зрения.

William Byles & Sons, Принтеры, 129, Флит-стрит, Лондон и Брэдфорд.

Сноски:

- [1] Следует четко понимать, что длина каждой волны серии измеряется расстоянием между гребнями двух последовательных волн. Длина волн, разбивающихся о морской берег, - это не длина вдоль гребня отдельной волны, измеренная в направлении, параллельном берегу, как склонны предполагать непосвященные. Истинную длину волны, или расстояние от гребня до гребня последовательных волн, можно хорошо наблюдать с вершины утеса.
- [2] На практике длины волн выражаются в десятиллионных долях миллиметра. Длины волн линий А и Н солнечного спектра, которые приблизительно совпадают с пределами видимости, составляют 7594 и 3968 десятиллионных долей миллиметра.
- [3] Возможно, человеческий глаз в настоящее время находится в процессе трансформации из низшего типа в другой и более совершенный.
- [4] Иногда бывает необходимо разместить линзу I с другой стороны от К.
- [5] Нетрудно найти образцы красного и зеленого стекла, подходящие для этого эксперимента. Правильный вид фиолетового встречается не так уж часто.
- [6] Некоторые недавние эксперименты по искусственной дальтонизму (Proc. Roy. Soc., февраль 1898 г.) привели мистера Берча к выводу, что на самом деле существует *четыре* основных цветовых ощущения — красное, зеленое, синее и фиолетовое. Однако считается, что его результаты допускают иную интерпретацию.
- [7] Или через несколько наложенных друг на друга частей.
- [8] Иногда вокруг опаловых шаров электрических фонарей на улицах действительно можно увидеть фиолетовую дымку.
- [9] В фонаре использовалась электрическая лампа “фокус”.
- [10] Proc. Roy. Soc., январь 1899г.
- [11] После нескольких секунд наблюдения зеленовато-голубой цвет часто становится намного интенсивнее, но это эффект усталости, которым мы в настоящее время не занимаемся.
- [12] См. *Nature*, том 55, стр. 367 (18 февраля 1897 г.).
- [13] Или, для достижения наилучших результатов, используйте сбалансированный металлический диск, покрытый черным бархатом и белой бумагой.